

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVACAMENTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "EMILIAN NEAGA"

ing. BALTAZOIU RAOSEMIAN

STUDIUL TENSIUNILOR REZANANTE LA 4 DERIVATIILOR
LA ANSABELELE SURTE DE LA LOCOMOTIVA DIESEL-
ELECTRICA DE 2100 C.A.

CON LICENTA STIINTIFIC

Prof. dr. doc. gt. ing. IOAN V. VANDILIN

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

1997

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ
534.507
Dulap 335/6

**MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMANTULUI
INSTITUTUL POLITECNIC "TRAIAN VUIA"
BUCURESTI**

ing. BALANCEIU MARIUSILIAN

TEZA DE DOCTORAT

COORDONATOR STIINTEFIC

Prof. dr.-ing. ing. POPOVICIU VLADIMIR

C O N T I N U T

1. INTRODUCERE	1
2. CERCETARI EXECUTATE PE OTEL SIAB ALIAT CU MANGAN	
2.1. Caracterizarea metalului de baza*	5
2.2. Considerații asupra sensibilității la creșterea a oțelurilor cercetate.	7
2.3.1. Proclari asupra sudabilității oțelului cercetat	7
2.4. Testarea la fisurabilitate a oțelurilor siab aliat cu mangan	13
2.4.1. Încercarea sudurilor în unghi bilateral	13
2.4.2. Încercarea la fisurare pe probe sudate în unghi	14
2.4.3. Încercarea de severitate termică (C.A.S.)	16
2.4.4. Încercarea de severitate termică după Cranzon	18
2.4.5. Încercarea pentru determinarea capacității de caldare	19
3. DEFORMAREA ȘI TENSIUNILE RESANURIL FOLCATE ÎN MANGANUL SIAB	
3.1. Originea deformărilor	23
3.2. Considerații cu privire la calculul analitic al tensiunilor și deformărilor	30
4. MĂSURAREA ȘI ÎNCERCAREA LA DEFORMĂRI	
4.1. Măsurări cooperative executate prin extensometrie electrică și mecanică	31
4.2. Cercetarea deformărilor rezultate pe o probă din oțel sudată prin măsurări efectuate la surzarea și la rădăcimea probei	33
4.2.1. Capul cercetării	33
4.2.2. Pregătirea probelor	35
4.2.3. Căldarea probelor	36
4.2.4. Măsurarea deformărilor	37
4.2.5. Concluzii	43
4.3. Considerații asupra deformărilor și tensiunilor din oțel sudată ca și la cap executate din C.A.37	
4.3.1. Pregătirea probelor	43
4.3.2. Măsurarea deformărilor	45

4.3.3. Interpretarea variației deformațiilor rezultate în timpul operațiilor de sudare	
4.3.4. Analiza deformațiilor după executarea operațiilor tehnologice pentru eliberarea tensiunilor	47
4.3.5. Analiza deformațiilor din plase decupate	50
4.3.6. Analiza deformațiilor specifice după sudare și după executarea șaurilor, respectiv a decupării	50
4.3.7. Determinarea tensiunilor rezanente	52
4.4. Măsurarea deformațiilor și a tensiunilor rezanente din probele sudate cap la cap din oțel slab aliat cu mangan	55
5.	
5. ANALIZA TEHNICĂ A DEFORMĂRIILOR TERMICE ȘI A TENSIUNILOR REZANENTE DETERMINATE DIN METALE	
5.1. Analize termice diferențiale	63
5.2. Fenomenele produse la încălzire și factorii care le influențează	64
5.3. Tensiunile rezanente produse la procesele termice	65
5.4. Analiza dilatometrică pe probe tratate termic din OL.37	67
5.5. Determinarea coeficientului de dilatare termică pe eșuvetele prelevate din probe sudate cap la cap din oțel OL.37	71
5.6. Aprecieri sau wa deformațiilor și a tensiunilor care rezultă datorită proceselor termice	79
5.7. Analize dilatometrice a probelor sudate din oțel marca OL.52-3 și cu grosimi de 21,35 și 52 mm	90
5.8. Cercetarea variațiilor coeficientului de dilatare termică liniară și pentru probe din OL.52-3 K sudate cap la cap în atmosfera de CO ₂	96
6. ANALIZA SCURT ÎN ALTE CARACTERISTICILE FIZICE ȘI MECANICE ALE OTELURILOR DE SUDARE PENTRU FOLCȘI DIN ALIANTII CROM-NICHELIZANȚI	
6.1. Determinarea constantelor elastice ale materialelor cu ajutorul energiei ultrasunetelor	103
6.2. Cercetări privind determinarea parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor în probele tratate termic	106
6.3. Determinarea parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor în probele sudate	112
6.4. Concluzii	121

7.0. ÎNCERCĂRI EFECTUATE PE MODELE LA MAȘINE NATURALE (SCALA 1 : 1)	
7.1. Stabilirea pe model a nivelului tensiunilor din profilul I sudat, utilizat ca lonjeroani la scheletul metalic inferior al locomotivelor	123
7.2. Determinarea experimentală a deformațiilor ale unei model sudat, referitor la sudarea plăcii frontale cu lonjeroani de la LME 21cc CF	133
7.3. Analiza deformațiilor și tensiunilor la partea frontală a locomotivei diesel-electrice LME 125cc CF	134
7.4. Cercetarea tensiunilor rezanente din traversa utilizată la ridicarea în porturi a locomoti- velor magistrale.	160
7.5. Cercetarea modelului unei cuve pentru trans- formator cu dispozitivul de ridicare	165
8. MĂSURI PENTRU PREVENIREA ȘI REDUCEREA DECI MĂȘIIILOR ȘI TENSIUNILOR REZANENTE.	
8.1. Considerațiuni generale	172
8.2. Măsură care trebuie luate înainte de sudare	172
8.3. Măsură cu caracter tehnologic	173
8.3.1. Măsură tehnologică cu privire la metalul de bază și cel depus	173
8.3.2. Măsură tehnologică cu privire la execuția cusăturilor sudate	174
8.4. Măsură luate după sudare	177
8.4.1. Detensionarea după sudare	178
9. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	
9.1. Concluzii	180
9.2. Contribuții personale	182
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	184

" Dorese să subliniez și în acest cadru, că realizarea obiectivului fundamental - făurirea societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintarea spre comunism - nu se poate realiza decât pe baza dezvoltării puternice a forțelor de producție, a celor mai noi cuceriri ale științei și tehnicii contemporane.
Orice rămânere în urmă pune în pericol viitorul poporului nostru, independența și suveranitatea sa "[2]

NICOLAE CEAUȘESCU

1. INTRODUCERE

La sudarea metalelor - tehnologie aplicată pe o arie tot mai întinsă - se impune a fi luate în considerare complexitatea problemelor care trebuie avute în vedere la adaptarea soluțiilor constructive și tehnologice prin acei factori care concurează la siguranța în funcționare a ansamblurilor sudate, ceea ce reprezintă concepția modernă de proiectare constructiv-tehnologică.

Având în vedere dificultățile la sudarea elementelor cu grosime mare, ca și sarcina reducerii consumului de metal se impune folosirea oțelurilor cu caracteristici mecanice superioare.

În baza Directivelor Congresului al XIII-lea al P.C.R. și prin tehnologia de sudare trebuie să fie obținute reduceri tot mai însemnate de metal și energie, având în vedere că „ În industria constructoare de mașini, consumurile specifice medii de laminate feroase se vor reduce cu 19 la sută..... ” [1] .

Pentru creșterea caracteristicilor mecanice ale oțelurilor cu conținut scăzut de carbon mai mici de 0,2 %, acestea se aliază cu mangan sub 1,5 %, în care caz limita de curgere și rezistența de rupere cresc cu peste 30 %, fără a se ridica probleme deosebite la sudarea acestora [147] ceea ce conduce la economia de metal

Optimizarea soluțiilor constructiv-tehnologice în contextul unor consumuri specifice cât mai mici impune o analiză cât mai profundă a deformațiilor și a tensiunilor remanente, având în vedere că orice tehnologie modifică spectrul tensiunilor existente anterior, fie prin reducerea acestora sau în cazul însumării lor poate să conducă chiar la starea limită, depășind valoarea rezistenței de rupere a metalului, în care caz durata de exploatare a ansamblurilor sudate este periclitată.

Cercetarea ansamblurilor sudate sub aspectul analizei deformații-

ilor și tensiunilor remanente vine să completeze încercările obișnuite ale acestora și contribuie la abordarea problemelor de comportare la sudare a materialelor pe o treaptă superioară, răspunzându-se astfel sarcinilor mărețe puse în fața industriei și cu ocazia Congresului științei și învățămîntului, cînd tovarășa Academician dr.ing.Elena Ceaușescu arăta : "... cercetarea să-și sporească aportul la realizarea în bune condiții a prevederilor din programul de introducere a progresului tehnic, de înnoire și modernizare a produselor și ridicare a nivelului tehnic și calitativ al acestora, astfel încît cea mai mare parte a produselor pe care le realizează industria noastră socialistă să fie de un nivel tehnic ridicat, iar unele dintre ele chiar să devanseze nivelul calitativ al celor mai bune produse similare realizate pe plan mondial " [3] .

În capitolul 1 se prezintă concepția modernă ca la proiectarea constructivă să se considere și influența factorilor tehnologici, care neglijate pot să conducă la periclitarea în condițiile normale de exploatare a ansamblelor sudate.

Procesele termice, care însoțesc sudarea prin topire a metalelor modifică nu numai proprietățile inițiale ale metalului de bază, însă prin deformațiile și tensiunile remanente produse impun reconsiderarea bazelor proiectării însăși, prin luarea în considerare a stărilor de tensiune modificate datorită procesului de sudare.

Capitolul 2 conține rezultatele experimentale obținute pe tabla din oțel marca OL 52 cu grosimile de 21,35 și 52 mm, în vederea definirii capacității de sudare. În continuare au fost cercetate probe sudate realizate cu diferite tipuri de electrozi indigeni și fabricație ESAB. O importanță deosebită a fost acordată testării la fisurabilitate a elementelor sudate din OL 37 și OL 52, folosind mai multe metode de încercare însă diversificate de autor în ceea ce privește atât mărcile de oțel și grosimile elementelor utilizate.

Testările au condus la concluzia că oțelurile de la Combinatul Siderurgic Galați și electrozii fabricați la ISPS Buzău se comportă la sudare ca și materialele similare din străinătate.

În capitolul 3 se prezintă mecanismul producerii deformațiilor la sudarea oțelului, ca și procesele produse în zonele distincte ale îmbinărilor sudate. În continuare se prezintă unele aspecte în ceea ce privește calculul analitic al deformațiilor și tensiunilor rezultate la sudare, arătîndu-se caracterul limitat al aplicării calculelor complicate și a cunoașterii mărimilor care se impun a sta la baza acestor calcule.

Capitolul 4 expune rezultatele experimentale obținute prin extensometria electrică și mecanică, arătându-se avantajele și limitele de utilizare pentru fiecare din aceste metode.

Folosind un model special conceput a fost creată posibilitatea analizării deformațiilor nu numai la suprafața piesei, dar și la o anumită adâncime.

În continuare se prezintă dinamica deformațiilor rezultate pe probe din oțel, în timpul executării cusăturilor, ea și pe probe din OL 52.

În capitolul 5 se prezintă rezultatele obținute prin analiza dilatometrică diferențială, care a permis în final stabilirea analitică a tensiunilor prin determinarea experimentală a coeficientului de dilatare termică liniară.

Metodic acesta a fost determinat pe probe din OL 37 încălzite la temperaturile de 700, 800, 900 și 1000°C și răcite în medii diferite ca apă, ulei și aer, făcându-se o analiză a valorii coeficientului α , în comparație cu starea de livrare a oțelului. Apoi coeficientul de dilatare termică liniară a fost determinat pe epruvete prelevate perpendicular la cusătură și paralele la aceasta. S-au făcut analize comparative cu starea de livrare a oțelului, ca și cu stările obținute ca urmare a tratamentelor termice efectuate.

Rezultate apreciabile au fost obținute și pe probe din oțel OL-52 sudate cu electrozi și regimuri diferite, ca și în CO₂.

Experimentările efectuate au permis și stabilirea temperaturii efective pentru detensionarea termică.

În capitolul 6 sînt prezentate rezultatele experimentale obținute pe probe din oțel investigate cu energia ultrasonoră, urmărindu-se modificările provocate de anumite tehnologii asupra parametrilor care definesc propagarea undelor în metal. Astfel au fost determinate influențele obținute pe probe deformate plastic uni-direcțional, pe probe supuse încălzirilor și răcirilor diferite (ca probele analizate la cap.5) și în sfîrșit pe probe sudate.

Pe baza determinării vitezelor de propagare ale ultrasunetelor în cazurile analizate au fost stabilite modulele longitudinale și transversale.

Cele mai spectaculoase modificări au fost obținute în cazul probelor sudate, cauzate de deranjamentele produse în rețeaua cristalină datorită deformațiilor și tensiunilor rezultate.

În capitolul 7 sînt prezentate rezultatele obținute în ceea ce privește determinarea experimentală a deformațiilor dezvoltate la

unele modele sudate executate la scară naturală. În unele cazuri cercetările au fost prealabil efectuate prin modelarea fotoelastică în regim static, care oferă date prețioase în privința optimizării geometriei și dimensiunilor elementelor componente.

Pe baza deformațiilor stabilite experimental, folosind legea lui Hooke generalizată sînt determinate stările de tensiune rezultate prin procesul de sudare, bine definit prin cunoașterea parametrilor tehnologici care-l definesc.

Modelarea la sudură 1:1, folosind mărcile de oțel la dimensiunile cerute completează rezultatele obținute prin modelarea fizică, oferind în același timp posibilitatea ca prin analize distructive să fie cunoscute influența procesului de sudare asupra metalului, ca și defectele de execuție. Astfel au fost constatate diferențe esențiale ale durității unor îmbinări sudate ale modelului, în comparație cu valorile obținute pe probe de laborator.

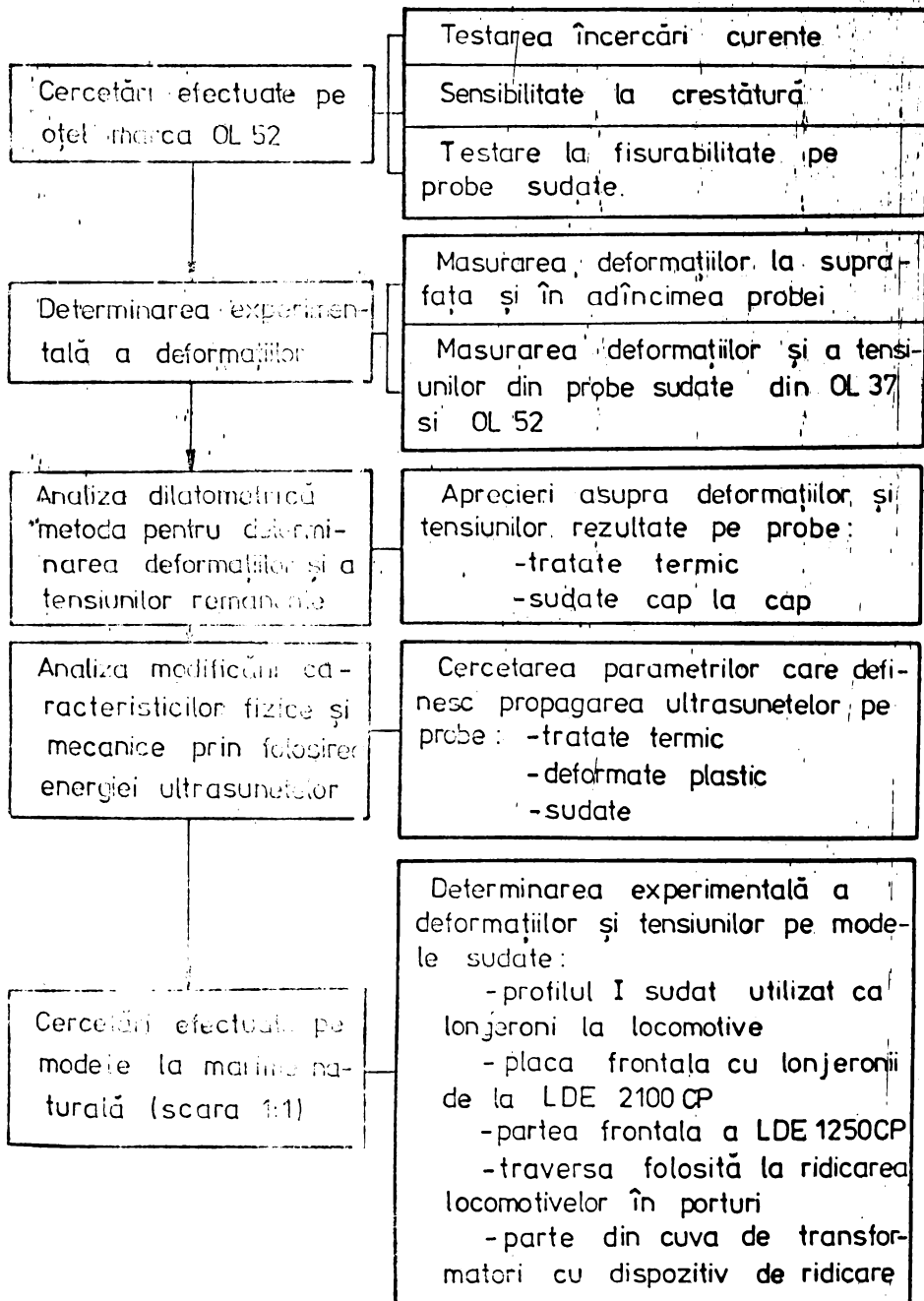
Capitolul 8 indică măsurile care se impun a fi luate în vederea diminuării deformațiilor, respectiv a tensiunilor. Aceste măsuri sînt stabilite în anumite stadii de realizare a îmbinărilor sudate, avînd în vedere influența procesului de sudare. O atenție deosebită a fost acordată detensionării subansamblelor sudate, precizînd condițiile de execuție a detensionării termice. Se precizează și unele aprecieri cu privire la detensionarea prin vibrații, care prezintă unele avantaje tehnico-economice. Se fac precizări asupra limitei de utilizare a fiecărei metode pentru detensionare.

Capitolul 9 se referă la concluzii și la contribuția personală.

Lucrarea prezintă constituie o parte din rezultatele obținute de autor în activitatea de cercetare desfășurată pe platforma întreprinderii Electroputere, în vederea rezolvării unor probleme legate de utilizarea mărcilor de oțeluri cu granulație fină și slab aliate cu mangan, de optimizarea soluțiilor constructiv-tehnologice ale unor subansamble sudate de la produsele de mare răspundere fabricate în întreprindere. În vederea elucidării unor fenomene care însoțesc deformațiile și stările de tensiune din subansamblele sudate au fost efectuate cercetări aprofundate, folosind metode avansate ca analiza termică și energia ultrasunetelor.

Cu această ocazie mulțumesc tuturor acelorora care au contribuit la formarea mea ca cercetător și specialist, în primul rînd colegilor de la Facultatea de mecanică a Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, cu care am ținut o permanentă legătură în probleme profesionale. În mod deosebit trebuie să menționez sprijinul efectiv acordat

SCHEMA PROGRAMULUI A CERCETĂRIILOR EXPERIMENTALE EFECTUATE



dat de tovarășul Prof.dr.dec.ing.Vladimir Popovici, în prima etapă cât a lucrat la întreprinderea Electroputere și apoi în calitate de conducător științific.

Formarea mea profesională a fost facilitată de complexitatea problemelor tehnice de la întreprinderea Electroputere Craiova, ea și dotarea experimentală existentă, care împreună cu colectivul de muncă am fost în măsură de a desfășura o vastă activitate de cercetare tehnico-științifică.

De asemenea doresc a menționa că prin participarea mea cu numeroase lucrări, parte prezentate în bibliografie, la simpozioanele, sesiunile și conferințele naționale din țară și străinătate, a constituit un schimb nemijlocit de opinii, care au contribuit la desăvârșirea mea ca cercetător, fapt pentru care aduc mulțumirile mele tuturor colegilor din institutele și întreprinderile cu care am avut plăcerea de a colabora pe diferite teme și probleme tehnice.

2. CERCETARILE EFECTUATE PE OTEL SLAB ALIAT CU MANGAN

Pentru utilizarea oțelurilor slab aliate cu mangan în fabricația de locomotive și transformatoare de mare putere au fost întreprinse cercetări proprii cu privire la sudarea acestora 19 .

Experimentările s-au efectuat pe table cu grosimea de 21,35 și 52 mm, marca oțelului OL 52-Ж STAS 500-50, caracterizându-se în primul rând cât mai complet materialul de bază(M.B).

2.1. Caracterizarea metalului de bază

Caracterizarea M.B s-a efectuat conform prevederilor STAS 500/1,2-80.

Analiza compoziției chimice a confirmat încadrarea conform STAS 500/1-80, în tabelul 2.1.1 prezentându-se conținutul de C, Mn și N₂.

Tabelul 2.1.1 Se constată un conținut diferit de azot și dispersie mai pronunțată a conținutului de mangan.

Grosimea tablei (mm)	Conținutul elementelor %		
	C	Mn	N ₂
21	0,19	1,22	0,0045
35	0,16-0,17	1,24-1,41	0,0060
52	0,17-0,19	1,34-1,41	0,0055

Structura oțelului din tabla cu grosimea de 21 mm este în șiruri, poliedrică, fină. În schimb oțelul din tablele cu grosimile de 35 și 52 mm prezintă structuri

poliedrice, mai grosolane și mai neomogene în secțiune, iar la tabla cu grosimea de 52 mm se constată și o ușoară decarburare la mar-

gine. In toate cazurile punctajul mărimii grăuntelui a fost 8 conform STAS 5490-80.

Ca urmare a încercării la tracțiune conform STAS 200-75 au fost obținute valori care s-au încadrat în limitele impuse de STAS 500/2-80, observându-se variația valorilor pe epruvete prelevate în zone diferite pe grosimea produsului, care concordă cu cele constatate la analiza structurală. Raportul dintre limita de curgere și rezistența la rupere este cuprins între 0,63 - 0,71 pentru oțelul din tablele cu grosimile de 21 și 32 mm, încadrându-se în intervalul 0,65 - 0,75 din literatură [123]. În schimb la tabla de 35 mm acest raport este de 0,58 - 0,59.

Încercarea tehnologică de îndoire la rece conform STAS 777-80 confirmă proprietăți plastice bune ale oțelului din tablele încercate, permițând îndoirea la unghiul $\alpha = 180^\circ$, fără ruperea epruvetelor.

Tenacitatea oțelului din tablele cercetate a fost determinată pe epruvete Charpy V la temperaturile de 20, -20 și -40°C și pe epruvete DVM la 0°C. În cazul tablelor cu grosimea de 35 și 32 mm prelevarea epruvetelor s-a făcut pe două zone, respectiv trei zone din secțiunea transversală a produsului.

Oțelul analizat OL 52-K după STAS 500-80 are garantată energia de 2,8 daJ numai la 0°C, acesta prezintă o rezervă mult acoperitoare, influențată însă de grosimea produsului. Astfel tabla cu grosimea de 21 mm prezintă o bună tenacitate chiar pe epruvetele transversale până la -40°C, obținându-se valori individuale peste 3,5 daJ, secțiunea transversală a epruvetelor rupte prezentând aspectul fibros.

Tabla cu grosimea de 35 mm a prezentat o dispersie pronunțată a energiei de rupere cu valori peste 2,8 daJ, cu o medie de 4,5 daJ, dar și cu energii inferioare.

Cu atât mai necorespunzător s-a comportat oțelul din tabla cu grosimea de 32 mm, care în totalitate a obținut valori nu numai sub 2,8 daJ, dar chiar mai mici de 1,0 daJ. Secțiunea de rupere a epruvetelor încercate din tablele cu grosimea de 35 și 32 mm a fost cristalină, ceea ce confirmă caracterul fragil al rupei.

Încercarea executată pe epruvete DVM la temperatura de 0°C a confirmat o bună comportare a oțelului din tablele cu grosimea de 35 și 32 mm; având în vedere prevederile din DIN 17100.

2.2. Considerații asupra sensibilității la creșterea a oțelurilor cercetate

Pentru a caracteriza M.B. la sudare, s-au urmărit următoarele:

- oțelul să prezinte o valoare a limitei de curgere cât mai ridicată, fără a afecta caracteristicile care definesc plasticitatea acestuia, respectând raportul $\frac{R_{0,2}}{R_m} = 0,65 - 0,75$;

- comportarea la rupere fragilă pe epruvete Charpy V, la temperaturile negative;

- tendința la îmbătrânire, care s-a executat pe epruvete Charpy V, în condițiile prevăzute de STAS 6774-79. În tabelul 2.2.1 se prezintă rezultatele obținute, constatându-se o diferență netă la fenomenul de îmbătrânire mecanică a oțelului din tabla cu grosimea de 21 mm și celelalte table. Această comportare diferită a oțelului din tablele cercetate se poate explica și prin conținutul diferit de azot (tabelul 2.1.1)

Tabelul 2.2.1.

Grosimea tablei (mm)	Reziliența (kgfm/mm^2)		Raport	Caracterul ruperii epruvetei îmbătrânite
	media inițială (K_0)	media după îmbătrânire (K_1)	$\frac{K_1}{K_0}$	
21	16,9	15,96	0,93	incomplet, fibroasă
35	17,8	2,56	0,14	cristalină
52	13,35	2,01	0,15	cristalină

2.3. Aprecieri asupra sudabilității oțelului cercetat

Problema sudabilității se impune a fi cercetate în totalitate și anume [123]:

- sudabilitatea operatoare care se referă la condițiile pentru realizarea asamblării printr-un procedeu de sudare ;

- sudabilitatea metalurgică sau locală, care analizează modificările fizico-chimice care rezultă ca urmare a procesului de sudare aplicat;

- sudabilitatea constructivă sau globală care se referă la caracteristicile tehnice ale construcției însăși pentru verificarea asamblărilor sudate în ceea ce privește sensibilitatea la fisurare.

Cercetarea s-a făcut pe probe sudate manual cap la cap prin topire cu arc electric. Debitarea probelor s-a efectuat oxiacetilenic, pregătirea restului făcându-se prin aşchiere pentru a se evita

operațiile ulterioare de polizare, de modificarea compoziției chimice și a structurii, în zona debitată și în cea influențată termic. Geometria rostului s-a făcut conform STAS 6662-74 și anume în X pentru tablele cu grosimile de 21 și 35 mm și în U pentru tabla cu grosimea de 52 mm.

Electrozii bazei utilizați sînt prezentați în tabelul 2.3.1.

Tabelul 2.3.1.

Electrozii utilizați la sudarea probelor

Tipul electrodu- lui	Produc- tor	S I M B O L I Z A R E			
		STAS 1125/2	DIN 1913	A.W.S. A.S.I.	I.S.O 2560
<u>Electrozii bazei</u>					
Unibaz	x) ISPS-Buzău	E51.3B2.3H	E51.33B(R)IU	E 7016	E51.3.B.23
Superbaz	x) ISPS-Buzău	E51.5B.120.2	E51.53.B10	E 7018	E51.5.E120.20
OK 48-00 ^{xx}	ESAB-Suedia	OH 1			E51.5.E120.29

x) ISIM - Materiale de sudare 1986

xx) Catalog SEV, Kiev - Moscova 1984.

Temperatura de preîncălzire s-a determinat după Séférian [151] și este prezentată în tabelul 2.3.2. Regimul de sudare a fost contro-

Tabelul 2.3.2. lat și s-a determinat ener-

Temperatura de preîncălzire

Grosimea produ- sului (mm)	Temperatura de preîncălzire (°C)
21	115,5
35	122,0
52	161,0

gia liniară după Okerblom [123], iar între straturi temperatura s-a măsurat folosind eretele termocolor (Thermochrom fabricație A.W. Faber-Castell).

Pentru măsurarea deformațiilor prin extensometria meca-

nică s-au utilizat rozete rectangulare, formate din segmente cu baza de 20 mm.

Regimul de sudare al probelor este prezentat în tabelele 2.3.3.

2.3.4 și 2.3.5

La probele sudate din tabla cu grosimea de 21 mm, se constată energii liniare apropiate ca valoare, cînd cusătura a fost executată cu straturi succesive din electrozi cu diametrul de 3,25; 4,0 și 5,0 mm, în schimb situația este schimbată la utilizarea electrozilor cu diametrele de 3,25 și 4,0 mm. Același lucru se constată și la probele sudate din tabla cu grosimea de 35 mm, energii diferite în ca-

Tabelul 2.3.3.

Regimul de sudare al probelor din tabla de oțel OL 52 grosimea 21 mm

Nr. probă	Electrod tip	Diametru (mm)	Sursa de curent	Regimul de sudare		Viteza de sudare (cm/s)	Nr. straturi	Energia liniară	Observații
				Tensiunea arcului (V)	Curent de sudare Fe (A)				
1a	OF 4S-00	3,25	C.C (+)	25	130	0,313	2	7164	Fără preincalzire
		4,0		23	180	0,321	6	9672	călzire
		5,0		24	250	0,331	2	13295	
		3,25		23	130	0,314	2	7141	Fără preincalzire
1b		4,0		23	180	0,329	6	9436	Probă prevăzută cu re-
		5,0		24	250	0,324	2	13880	zeta
2a		3,25		23	130	0,328	2	6899	Preincalzire
		4,0		23	180	0,330	6	9409	120-150°C
		5,0		23	250	0,328	2	13147	
		3,25		23	130	0,323	2	6943	Preincalzire 120-150°C
2b		4,0		23	180	0,340	6	9132	Probă prevăzută cu rozete
		5,0		23	250	0,324	2	13310	
3a	Superbaz	3,25	C.C (+)	22	130-140	0,347	2	6419	Fără preincalzire
		4,0		25	180-190	0,465	6	7460	
		5,0		25	250	0,345	2	13471	
		3,25		22	130-140	0,347	2	6419	Fără preincalzire
3b		4,0		25	180-190	0,478	6	7257	
		5,0		25	250	0,345	2	13487	
3c		3,25	C.C (+)	22	130-140	0,460	2	4842	Fără preincalzire
		4,0		25	180-190	0,358	10	9690	Probă prev. cu rozete
4a	Unibaz	3,25		22	130-140	0,327	2	6812	Cu preinc. cca. 150°C
		4,0		25	180-190	0,352	10	9854	
4b		3,25		22	130-140	0,338	2	6590	Cu preinc. la cca 150°C. Probă prev. cu rozete
		4,0		25	180-190	0,353	10	9826	

Regimul de sudare al probelor din tablă de oțel
 O1.52 cu grosimea de 35 mm

Nr. probă	Tip	Distanța de sudare (mm)	Surse de curent	Regimul de sudare		Curent de sudare (A)	Viteza de sudare (cm/s)	Nr. energia stră-liniară	Observații		
				Tensiunea arcului (V)	media nominală						
5a	OK-46.00	4,0	C.C. (+)	22-24	23	180-200	190	0,351	2	9902	P.R. preincalzire
				24	24	250	250	0,353	16	12748	
				22-24	23	180-200	190	0,324	2	10116	P.R. preincalzire
5b		4,0	C.C. (+)	24	24	250	250	0,354	16	12712	Probă preincalzire
				22-24	23	180-200	190	0,326	2	10054	Cu preinc. eem. 190°C
				24	24	250	250	0,368	16	12228	
6a		4,0	C.C. (+)	22-24	23	180-200	190	0,333	2	9842	Cu preinc. eem. 190°C
				22-24	23	250	250	0,357	16	12080	Probă preinc. cu preinc.
				22-24	23	180-200	190	0,340	2	9640	Cu preinc. 190°C
7a	Unibaz	4,0	C.C. (+)	25	25	180-190	185	0,344	16	10594	
				25	25	180-190	185	0,347	26	10064	P.R. preincalzire
				25	25	180-190	185	0,347	26	9996	P.R. preinc. probă preincalzire
8a		4,0	C.C. (+)	25	25	180-190	185	0,348	26	9968	vezută cu preinc.
				25	25	180-190	185	0,346	26	9958	Cu preinc. la eem. 190°C
				22-24	23	180-200	190	0,352	2	9311	Probă preinc. cu preinc.
9		4,0	C.C. (+)	24	24	200	200	0,356	16	10112	cu preinc. și detasat.
				25	25	180-190	185	0,386	26	9128	cu preincalzire și detasat.
				25	25	180-200	190	0,352	2	9311	cu preinc.
10		4,0	C.C. (+)	25	25	180-190	185	0,347	26	9996	P.R. preinc. probă preincalzire
				25	25	180-190	185	0,347	26	9996	P.R. preinc. probă preincalzire
				25	25	180-190	185	0,347	26	9996	P.R. preinc. probă preincalzire

Tabelul 2.3.5
 Regimul de sudare al probelor din tablă de oțel O1.52 cu grosimea de 52 mm

13	OK 48-00	4,0	C.C. (+)	22-24	23	180-200	190	0,375	1	8740	Cu preinc. 160°C
				25	25	250	250	0,367	40	12772	
				22-24	23	180-200	190	0,309	1 R	10606	
14	OK 48-00	4,0	C.C. (+)	25	25	250	250	0,345	38	8740	Cu preinc. 160°C. Probă a fost preincalzită cu
				22-24	23	180-200	190	0,350	1 R	10761	cu preinc.
				22-24	23	180-200	190	0,354	1	9812	cu preinc. 160°C
14	Superbaz	4,0	C.C. (+)	25	25	250	250	0,376	38	12467	
				22-24	23	180-200	190	0,309	1 R	12165	
				22-24	23	180-200	190	0,428	1	7658	Cu preinc. 160°C. Probă a fost preincalzită cu
12		4,0	C.C. (+)	25	25	250	250	0,370	36	12669	a fost preincalzită cu
				22-24	23	180-200	190	0,326	1 R	10964	cu preinc.
				22-24	23	180-200	190	0,326	1 R	10964	cu preinc.

zului folosirii electrozilor de 4,0 și 5,0 mm și altă situație la utilizarea numai a electrozilor de 4,0 mm. Variații pronunțate ale energiei liniare prezintă probele sudate din tabla cu grosimea de 52 mm, chiar și în cazul completării la rădăcină.

Din probele sudate au fost prelevate epruvete pentru încercările mecanice în conformitate cu STAS 5540 (196, 197, 198, 199, 200) .

În plus au fost executate analize macro și micro-structurale ale îmbinărilor sudate și s-a determinat coeficientul de dilatare termică liniară.

Epruvetele pentru încercarea la tracțiune și îndoire la rece au fost prelevate din probele prevăzute cu rozetele pentru măsurarea deformațiilor. Din aceleași probe au fost decupate fișii cu lățimea de cca 50 mm, care au fost utilizate pentru măsurări extensometrice. Epruvetele pentru încercarea la încovoiere prin șoc și pentru dilatometrie au fost prelevate din plăcile fără rozete.

Toate operațiile de tăiere au fost executate prin așchiere, cu precauție în privința încălzirii neadmisibile a metalului.

În tabelul 2.3.6 se prezintă rezultatele încercării de îndoire la rece.

Tabelul 2.3.6.

Rezultatele încercării de îndoire la rece

Nr. probei sudate	Grosimea tablei (mm)	Tipul de electrod folosit	Preîncălzire	Diametrul de îndoire (mm)	Unghiul de îndoire (°)	Rezultatul încercării
1	21	OK 48.00	fără	40	180	fără crăpături
2			cu		63	crăpături în zona adiacentă cusăturii
3			Superbaz		180	fără crăpături
4			Unibaz		185	crăpături în zona adiacentă cusăturii
5	35	OK 48.00	fără	50	180	fără crăpături
6			cu		180	fără crăpături
7			Unibaz		180	fără crăpături
8			cu		180	fără crăpături

Deși în unele cazuri valoarea unghiului α la sare au apărut crăpături este sub 180° , totuși acesta corespunde conform prescripțiilor ISCIR CR 9-78 ($\alpha_{\min} = 40^\circ$ pentru $R_m \geq 5000 \text{ N/mm}^2$).

Ca urmare a încercării la tracțiune din probele sudate cu grosimea de 21 și 35 mm au rezultat valori cuprinse între 50,6 și 57,7 daN/mm^2 , ruperea având loc în metalul de bază, iar pentru cusătură valori cuprinse între 63,1 și 66,5 daN/mm^2 .

Ca urmare a încercării de duritate și a analizei macro și micro structurale au rezultat următoarele:

a) toate probele sudate au prezentat valori ale durității Vickers HV 5 și HV 10 mai mici de 350 daN/mm^2 ;

b) la probele sudate din tabla cu grosimea de 21 mm au fost obținute în ZIT structuri transformate sorbitice, iar în unele cazuri limitate s-au constatat constituenți de coalescență (la proba 4 care prezintă și o zonă influențată termic mai extinsă). Acest lucru este explicat prin faptul că la executarea cusăturii nu au fost utilizați electrozi cu diametrul de 5 mm, care folosind la depunerea ultimelor straturi o energie liniară mai mare, conduce la structuri de normalizare;

c) la probele sudate din tabla cu grosimea de 35 mm notate cu 6 și 8 se constată zone influențate termic mai extinse, iar la proba 10 la care s-a utilizat preîncălzirea, dendritele sînt ceva mai mici dimensional. În Z.I.T structurile obținute sînt de normalizare și sorbitice;

În tabelul 2.3.7 sînt prezentate statistic rezultatele obținute la încercarea de încovoiere prin șoc la probele sudate.

Tabelul 2.3.7.

Rezultatele obținute la încercarea de încovoiere prin șoc la probele sudate

Proba	Grosimea tablei (mm)	Tip electrod	Preîncălzire	Total eprove- te încovoiere	Tempe- ratura de încovoiere (°C)	Energia de rupere daJ	
						peste 2.8	sub 2.8
0	1	2	3	4	5	6	7
1	21	OK 48,00	fără	5	20	5	-
				5	- 20	-	5
			cu	5	- 40	-	5
2				5	20	5	-
				5	- 20	4	1
				5	- 40	4	1
3		Superbaz	fără	5	20	5	-
				5	- 20	5	-
				5	- 40	5	-
4		Unibaz	cu	5	20	5	-
				5	- 20	2	3
				5	- 40	-	5
5.1	35	OK 48,00	fără	10	20	10	-
				10	- 20	8	2
				10	- 40	5	5
6.1			cu	10	20	10	-
				10	- 20	10	-
6.2				10	- 40	7	3

	0	1	2	3	4	5	6	7
7.1.			Unibaz	fără	10	20	10	-
					10	-20	7	3
7.2.					10	-40	2	8
8.1.				cu	10	20	10	-
					10	-20	7	3
8.2.					10	-40	2	8
9.1.-9.2.				cu deten	20	20	20	-
10.1-10.2.				sionare	20	-20	20	-
					20	-40	7	13
13.1.	52	OK	45.00	cu	15	20	15	-
13.2.					15	-20	15	-
13.3.					15	-40	9	6
14.1.			Superbaz	cu	15	20	15	-
14.2.					15	-20	8	7
14.3.					15	-40	6	9

2.4. Testarea la fisurabilitate a oțelurilor alab aliate cu mangan

Se analizează cazul îmbinărilor sudate realizate din oțeluri marca OL 37 și OL 52, sudate cu electrozi bazici fabricați la ISPS Buzău. Cazurile cercetate s-au referit la tablele din oțel cu grosimile de 15 ... 52 mm.

Metodele indicate de literatura de specialitate au fost extinse de autor pentru cazurile întâlnite în practica de producție, în cazul îmbinărilor realizate cu mărci de oțel diferite și grosimi diverse.

Cu cât rezistența mecanică a unui oțel se mărește, crește posibilitatea de călire la sudare, astfel oțelul OL 52 prezintă din acest punct de vedere un pericol mai mare, fenomenul manifestându-se în domeniul temperaturilor dintre A_3 și punctul de fuziune.

2.4.1. Încercarea sudurilor în unghi bilateral

Încercarea se referă la verificarea la fisurare a cusăturilor sudate executate în unghi. Proba constă în realizarea unei îmbinări în T [105], executată din oțel marca OL 52 și OL 37 (fig.2.4.1).

În fig.2.4.2 se prezintă proba pentru încercarea la fisurare la cald, arătându-se și hafturile de sudură cu ajutorul cărora se fixează inițial cele două elemente.

Cusătura sudată se va executa prin picurarea metalului topit din electrod după direcția bisectoarei unghiului drept format între cele două elemente a și b fig.2.4.1.

Electrozii utilizați au fost bazici, cu diametrul de 4 și 5 mm, având rezistența de rupere cuprinsă între 52 și 62 daN/mm².

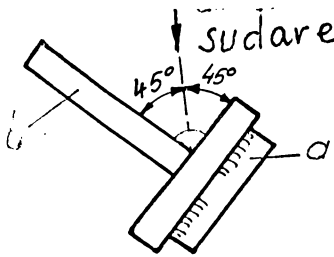


Fig.2.4.1.
Modul de realizare al
probei sudate

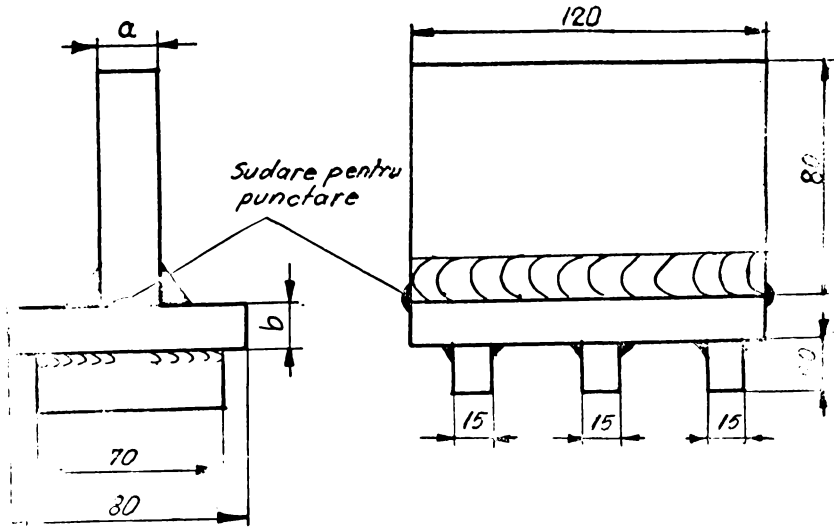


Fig.2.4.2.

Proba pentru încercarea de fisurare la cald

A doua cusătură de sudură a fost depusă imediat după executarea primei în sens opus. Probele se execută fără a fi preîncălzite.

Proba a fost executată din mărci de oțeluri diferite și anume: elementul rigidizat(a) din oțel OL 57-2 cu grosimea de 15 mm, iar celălalt element(b) din oțel OL 52- λ k cu grosimea de 21 mm.

Ca electrozi s-au utilizat Superbaz, fiecare cusătură fiind executată prin două treceri, folosindu-se o lungime a electrodului de 200 mm. Curentul de sudare a fost 190 ... 200 A pentru electrozii cu diametrul de 4 mm și 250 A pentru aceia de 5 mm. De asemenea probele au fost secționete transversal, analizându-se structural și determinându-se duritatea HV 5 în zonele caracteristice. După aceste încercări și analize nu au fost evidențiate prezența fisurilor și a constituenților duri și fragili, ea și valori ale durității care să depășească valoarea de 350 HV 5.

2.4.2. Încercarea la fisurare pe probe sudate în unghi - se execută conform DOC I.I.S 93-62 simbolizate cu AA 1, care se aplică în cazul materialelor cu grosimea mai mare de 12,5 mm, la depășirea acestei grosimi, aceasta se va reduce prin aşchiere(fig.2.4.2.1).

În fig.2.4.2.2 se prezintă secțiunea transversală a probei, în care se vede placa A cu dimensiunile axi 50x150 mm și plăcile B cu dimensiunile axi 74x150 mm (a fiind grosimea materialului), ordinea de executare a cusăturilor sudate și punctele în care s-a determinat duritatea Vickers(HV 5) [216] .

Sudarea s-a executat pe electrozi Superbaz cu diametrul de 5mm, folosindu-se regimul de sudare: $U_a = 30$ V și $I_g = 150$ A. Sursa de curent a fost de c.c. cu polaritate inversă.

Imbinarea se execută la o singură trecere, avind latura de 6,4 mm, iar imbinările următoare se continuă după răcirea probei la temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$, ceea ce conduce la o solicitare termică deosebită a probei.

După 48 de ore de la executarea celor patru imbinări sudate, proba s-a tăiat în patru fișii cu lățimea de 25,4 mm.

În secțiunea transversală a acestora a fost determinată duritatea Vickers cu sarcina de 5 kgf (HV 5). Macrostructural nu au fost puse în evidență prezența fisurilor, singurele defecte existente fiind

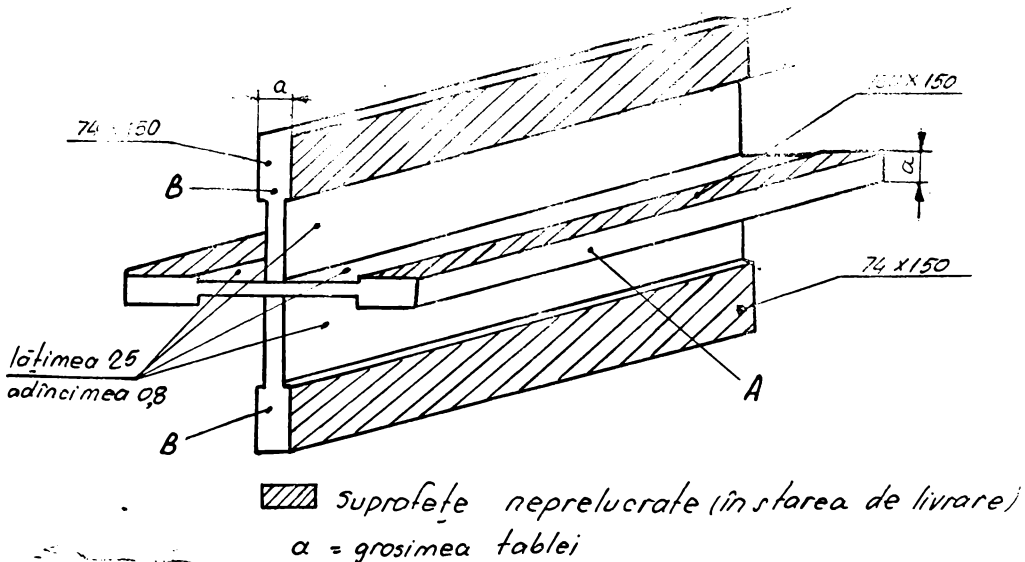


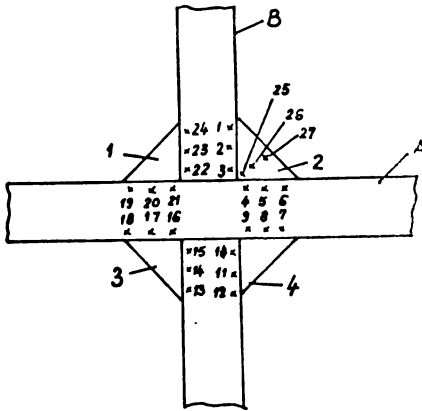
Fig.2.4.2.1.

Proba pentru încercarea la fisurare CA 1 nepătrunderile. Astfel în cazul elementelor A executate din OL 37 s-a obținut duritatea maximă de 160 HV 5, iar în cazul elementelor B aceasta ajunge la maximum 200 HV 5.

La elementele executate din OL 52 s-a obținut la elementele A duritatea maximă de 320 HV 5 și de 360 HV 5 la elementele B.

Aceste valori sînt izolate, valoarea durității la elementele executate din OL 52 fiind în medie de 260 HV 5. În metalul depus al cusăturii duritatea a fost în general de 220-240 HV 5.

Dacă se corelează valoarea durității Vickers cu energia linia-



1.....24 Durițate HV5
 1.....4 cusăturile sudate
 A și B plăcile componente ale probei

Fig. 2.4.2.2.

Secțiunea transversală a probei pentru încercarea la fisurarea
 CA 1

ză experimentările efectuate de British Welding Research Association (BWRA) și este indicată a fi aplicată oțelurilor slab aliate și ușor călibile 58. Placa B este așezată simetric față de axa plăcii A, la

ră utilizată la executarea îmbinărilor respective. Se constată, că pentru elementele notate cu A energia liniară optimă este de 10,8 kJ/cm în cazul oțelului marca OL 57 și de 13 kJ/cm pentru oțelul marca OL 52. Pentru elementele notate cu B din aceeași marcă de oțel energia liniară este de 11,5 kJ/cm.

Optimizarea s-a considerat pe baza valorilor maxime și ale gradului de dispersie al durității obținută.

2.4.3. Încercarea de severitate termică (CTS)

Această încercare are la ba-

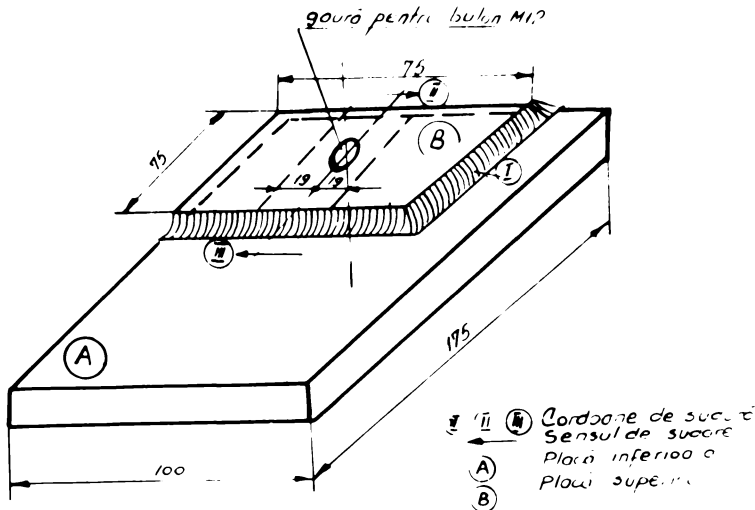


Fig. 2.4.3.1.

Proba pentru încercarea la severitate termică CTS

o distanță de 12,5 mm de la margine, considerându-se cazul sudurilor de colț cu $K = 3$, respectiv cu trei căi de evacuare a căldurii și severitate termică 3, după cum se arată în fig. 2.4.3.2. Experimentările s-au executat cu tablă OL 37 cu grosimea de 15 mm și OL 52 cu grosimile de 21,35 și 52 mm. Ordinea de execuție a cusăturilor sudate a fost I, II, III în sensurile indicate în figura 2.4.3.1.

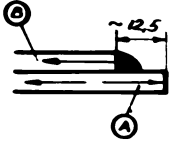


Fig. 2.4.3.2.
Cazul de severitate termică 3

Sudurile de colț s-au executat numai cu electrozi Superbaz cu diametrul de 4 mm. Stratul următor a fost depus la temperatura controlată de 100 ... 150°C celui anterior. Sudura s-a făcut cu regim constant la cele trei cusături, anume:

$U_g = 23 \text{ V}$ și $I_g = 190 \text{ A}$.

Pe placa A au fost amplasate și două rozete avînd baza de măsurare 20 mm, delimitate cu bile din oțel cu diametrul 1/16" pentru măsurarea deformațiilor prin extensometrie mecanică [39, 100, 163] conform fig. 2.4.3.3. Definiția severității termice - TSN (Thermal Severity Number) se face

prin relațiile:

$$N_B = 4 \frac{t+b}{25} \quad (2.4.3.1)$$

$$N_T = 4 \frac{t+2b}{25} \quad (2.4.3.2)$$

unde t și b sînt grosimile (mm) ale plăcilor A și B. Indicele N_B se referă la TSN bitermic, iar N_T la cel tritermic fig. 2.4.3.2.

După executarea probelor acestea au fost secționare după axa de simetrie longitudinală în vederea examinării ma-

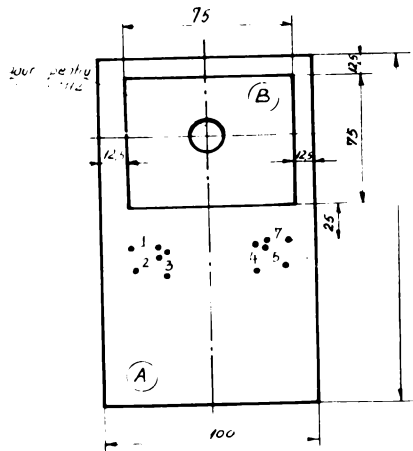


Fig. 2.4.3.3.
Modul de amplasare al rozetelor pe probe CTS

crostructurale, pentru a evidenția prezența eventualelor fisuri și apoi s-a determinat duritatea Vickers (HV 5), conform fig. 2.4.3.4

534507
3359

În fig. 2.4.3.5 se prezintă duritatea determinată în ZIT și în cusătură pentru cele două zone I și II ca și energia liniară utilizată la fiecare probă.

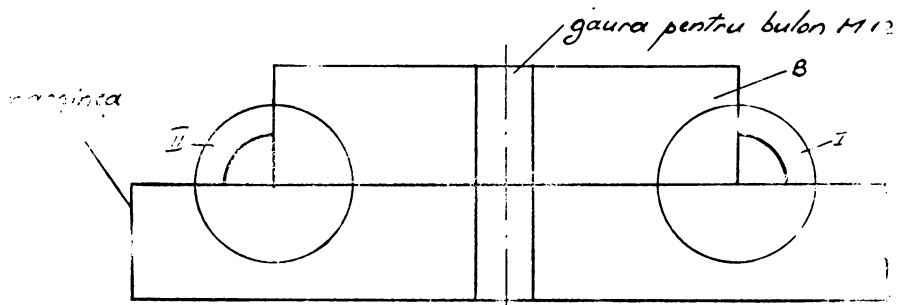


Fig. 2.4.3.4.
Secțiunea transversală a probei CTS și punctele în care s-au determinat duritățile HV 5

De aici rezultă că duritatea din zona I este în general superioară durităților din zona II, atât pentru ZIT cât și pentru cusătură, lucru explicat prin viteza de răcire, mai mare în zona marginală a probei.

Pentru același motiv placa B prezintă în general valori mai mari ale durității în comparație cu placa A. Valoarea durităților nu depășesc în general 300 HV 5 în ZIT a celor două plăci.

În privința curbei care reprezintă variația energiei liniare se constată diferențe mari, în cazul probelor la care placa B este din OL 37, indiferent de grosimea plăcii A din OL 52. În cazul probelor la care placa A este din OL 37 și placa B din OL 52, energia liniară se menține aproape constantă.

Pe baza relațiilor cunoscute ale legii lui Hooke generalizată și a deformațiilor rozetelor au fost determinate valoarea tensiunilor normale principale σ_I și σ_{II} , ca și direcția acestora (unghiul 2φ), ale căror rezultate sînt prezentate în tabelul 2.4.3.2.

Se constată tensiuni relativ mici, majoritatea fiind de compresie. Valori care depășesc limita de curgere se constată la probele 2, 7, 8 și 12 pentru rozeta (1, 2, 3) și la proba 14 (rozeta 7, 5, 4). Se constată că pentru probele la care tensiunile cu valori mai apreciabile de tracțiune, unghiul direcției principale se găsește în primul cadran trigonometric (probele 3 și 12), iar în cazul eforturilor de compresie, acest unghi se găsește în cadranul II trigonometric.

2.4.4. Inercarea de severitate termică după Grignon - se deosebește de încercarea CTS, prin aceea că placa B este așezată chiar în mijlocul plăcii A, iar pe lângă fixarea prin bulonul M 12 se mai

rigidizează placa superioară față de cea inferioară prin două cusături sudate prealabil 56. Proba este prezentată în fig. 2.4.4.1.

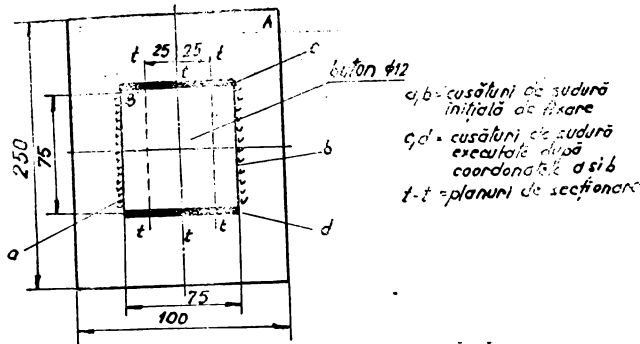


Fig. 2.4.4.1.

Proba de severitate termică modificată

fig. 2.4.4.1. Epruveta care a rezultat a fost analizată pe ambele fețe, din punct de vedere structural și al durității Vickers (HV 5), lucru indicat în fig. 2.4.4.2. Variația durității din ZIT ale plăcilor A și

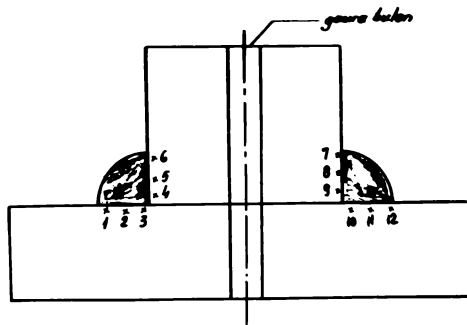


Fig. 2.4.4.2.

niară se referă la toate cele patru îmbinări sudate. Din fig. 2.4.4.3. rezultă că se obțin durități maxime de 350 HV 5 la proba 18 și anume în placa B.

Pentru executarea cusăturilor c și d s-au utilizat energii liniare cuprinse între 42 kJ/cm (proba 10 și 11) și 48,4 kJ/cm (proba 2)

Analizând structura probelor care au prezentat valori mari ale durității (probele 12 și 18), pe lângă structurile transformate din ZIT s-a evidențiat și prezența unei fisuri produsă la rece la

După executarea cusăturilor sudate a și b și după răcirea completă a probei s-a realizat cusătura c și apoi după răcirea probei s-a executat cusătura d.

Electrodul utilizat a fost Superbaz cu diametrul de 4 mm.

După completa sudare, proba a fost secționată după planurile t-t din

B, ca și a metalului depus se prezintă în fig. 2.4.4.3. În aceeași figură se arată și variația energiei liniare a fiecărei probe.

Energia li-

marginea cusăturii, care pornește de la un defect, demonstrându-se astfel efectul nefavorabil al defectelor de execuție și al bridării.

2.4.5. Încercarea pentru determinarea capacității de călire

Dat fiind faptul că oțelul marca OL 52 prezintă un risc mai mare de călire în comparație cu oțelurile marca OL 44 și OL 37, s-a verificat această sensibilitate pe epruvete conform figurii 2.4.5.1 [58].

Probele au fost pregătite din tablă de oțel marca OL 52 cu grosimile de 35 și 52 mm. Șanțul pregătit a fost încărcat cu metal depus din electrozi bazici OK 48.00 și Superbaz, în patru straturi, primul cu diametrul de 3,25 mm și celelalte cu diametrul de 4 mm.

S-a determinat energia liniară. Probele au fost sudate cu și fără aplicarea unui tratament de preîncălzire, iar după sudare acestea au fost supuse unui tratament de recoacere.

Probele nu au fost reduse la dimensiunile unei epruvete Jominy normală, ci au fost menținute la diametrul de 35 mm, creându-se astfel posibilitatea de a participa la încercare întreaga secțiune transversală a probei, cu zonele distincte ale unei îmbinări sudate.

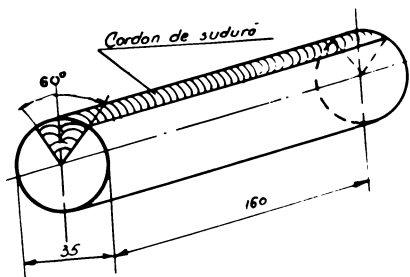


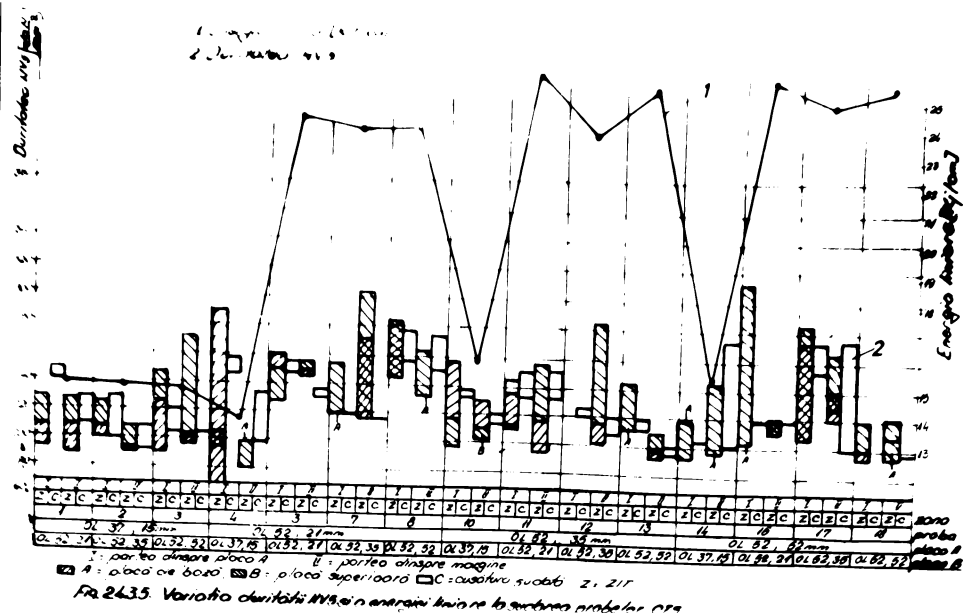
Fig. 2.4.5.1.

Proba pentru determinarea capacității de călire

Încercarea este o probă Jominy modificată după Boren și Brichson. În tabelul 2.4.5.1. se prezintă regimul de sudare al probelor pentru determinarea capacității de călire.

Tab. 24.31 Deformabilități, caracterizate unitate normală maximă și curbură și direcția acțiunii.

Podea	Podea	Deformarea unității normale ϵ (mm)	Deformarea ϵ_1 (mm)	Cifre caracterizate normală maximă și curbură și direcția acțiunii			Podea	Podea	lungimea inițială l_0 (mm)	Deformarea ϵ_1 (mm)	Cifre caracterizate normală maximă și curbură și direcția acțiunii		
				σ_1	σ_2	σ_3					σ_1	σ_2	σ_3
1	1	28,00	0	8,205	0,632	137° 47'	10	1	28,157	-0,006	1,0013	-7,000	160°
	2	28,00	0,007					2	28,00	0,002			
	3	28,00	0,007					3	28,150	0,002			
	4	28,00	-0,001	4,077	-0,303	107° 32'		4	28,163	-0,007	1,6687	-7,000	167° 30'
	5	28,00	0,003					5	28,113	0,003			
2	1	28,00	-0,002	1,309	-0,247	156° 39'	12	1	28,117	-0,011	15,072	-0,210	137° 21'
	2	28,00	0,005					2	28,147	-0,007			
	3	28,00	0,006					3	28,132	0,002			
	4	28,00	-0,001	0,043	-0,306	137° 30'		4	28,110	-0,002	4,7994	-7,000	159° 56'
	5	28,00	0,002					5	28,117	0,002			
3	1	28,00	-0,002	4,304	-0,307	107° 3'	13	1	28,107	-0,002	9,0077	-0,2022	136° 9'
	2	28,00	0,002					2	28,104	0,002			
	3	28,00	0,002					3	28,106	0,007			
	4	28,00	-0,002	13,309	-0,001	140° 00'		4	28,109	-0,002	7,001	-0,500	100°
	5	28,00	0,002					5	28,111	0,002			
4	1	28,00	0,002	3,4007	0,0072	161° 06'	14	1	28,064	0,006	6,975	-3,500	10°
	2	28,00	0,002					2	28,067	-0,002			
	3	28,00	0,002					3	28,100	0,001			
	4	28,00	-0,002	5,707	-11,4575	136° 30'		4	28,063	-0,002	13,000	-20,500	99° 32'
	5	28,00	0,002					5	28,066	0,002			
5	1	28,00	-0,002	2,0572	-13,305	104° 37' 16"	15	1	28,076	0,001			
	2	28,00	0,002					2	28,083	-0,002	7,004	-0,500	100°
	3	28,00	0,002					3	28,082	0,001			
	4	28,00	-0,002	11,3120	-21,082	117°		4	28,086	-0,002	3,000	-0,500	100°
	5	28,00	0,002					5	28,080	0,002			
7	1	28,00	-0,002	7,522	-1,523	130°	17	1	28,082	-0,002	6,000	-0,500	100° 30'
	2	28,00	0,002					2	28,080	0,002			
	3	28,00	0,002					3	28,083	-0,002			
	4	28,00	-0,002	6,372	-20,37	103°		4	28,081	-0,002			
	5	28,00	0,002					5	28,082	0,002			
8	1	28,00	-0,002	5,062	-11,400	130° 50'	18	1	28,081	-0,002			
	2	28,00	0,002					2	28,081	0,002			
	3	28,00	0,002					3	28,081	0,002			
	4	28,00	-0,002					4	28,081	-0,002			
	5	28,00	0,002					5	28,081	0,002			



Ra. 24.35 Variația distribuției energiei în secțiunile probelor CTS

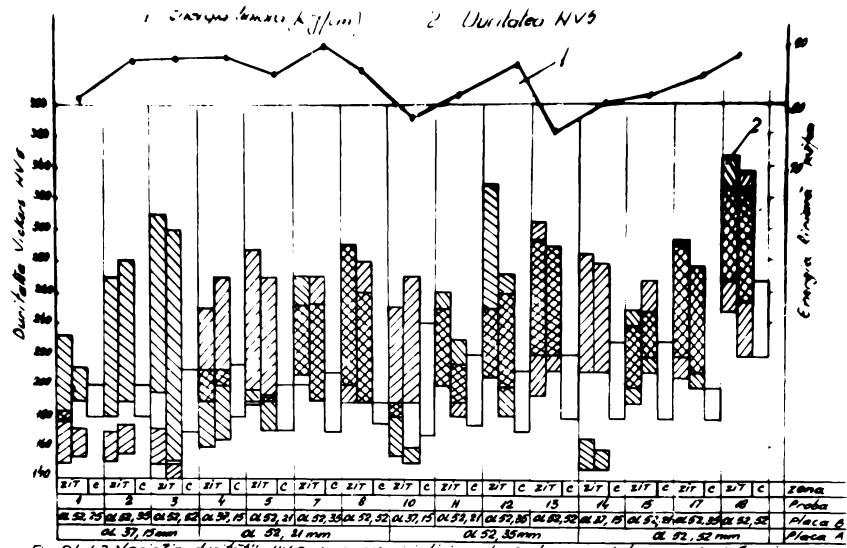


Fig 26.43 Variația dureții HV0.05 și a energiei liniare la sudarea probelor OTS după granajon
 ■ Placa A ▨ Placa B □ Cusătură sudată EIT - Zona de influență termică

Tabelul 2.4.5.1.

**Regimul de sudare al probelor pentru deter-
minarea capacității de călire**

Nr. Gro- pro-simea bă	Gro- simea tablei (mm)	Regimul de sudare			Electrod		Strat	Ener- gia lini- ară (J/cm)	OBSER- VAȚII
		U are (V)	I sud. (A)	Viteza sudare (cm/s)	Tip	Dia- metru (mm)			
1	32	23	130	0,234	OK 4800	3,25	1	9600	fără
		23	190	0,227		4,0	2	14500	preîn-
		23	190	0,208		4,0	3	15800	călzire
		23	190	0,160		4,0	4	20500	
2	35	23	130	0,242		3,25	1	9300	cu pre-
		23	190	0,211		4,0	2	15500	incăl-
		23	190	0,224		4,0	3	14600	zire
		23	190	0,165		4,0	4	20000	120-150°C
3	35	22	135	0,245	Superbaz	3,25	1	9020	fără
		25	185	0,242		4,0	2	14300	preîn-
		25	185	0,227		4,0	3	15200	călzire
		25	185	0,167		4,0	4	20700	
4	35	22	135	0,211		3,25	1	10550	cu pre-
		25	185	0,230		4,0	2	15000	incălzi-
		25	185	0,220		4,0	3	15750	re 120-
		25	185	0,169		4,0	4	20500	150°C

Probele au fost secționare după axa de simetrie, pregătindu-se două fețe paralele pentru determinarea durității Vickers (HV 5). Valorile durității obținute în metalul de bază au fost între 190-296 daN/mm², iar în metalul depus duritatea a variat de la 195 la 244 daN/mm².

Analizând aceste rezultate se pot deduce următoarele:

- se remarcă absența unor durități HV 5 cu valori mari, acestea fiind sub 300 daN/mm²;
- cele mai mici valori ale durității au fost obținute la proba 4, cu preîncălzire și la care metalul depus la primul strat s-a făcut cu energia liniară cea mai mare, în comparație cu celelalte;
- se constată o mai bună comportare a electrozilor din țară, în comparație cu electrozii OK 48.00 din import;
- structurile transformate din ZIT sînt de normalizare și sorbito-troostitice.

Concluzii cu privire la influența sudurii asupra proprietăților mecanice ale probelor sudate

a) Proprietățile mecanice ale probelor sudate nu indică o alterare a rezistenței la rupere la tracțiune.

b) Incercarea tehnologică de îndoire la rece cu un dorn cu diametrul de două ori grosimea tablei, indică o bună comportare.

c) Tenacitatea probelor sudate este superioară metalului de bază, lucru dovedit prin valoarea energiei de rupere la încovoierea prin șoc. Acest lucru este explicat prin tenacitatea mare a metalului depus în cusătură și prin transformările favorabile din metalul de bază.

d) Duritatea din zonele distincte ale îmbinărilor sudate, ca și analizele structurale atestă lipsa constituenților duri și fragili și prezența unor structuri de transformare de normalizare, sorbitice și troostitice, care ameliorează proprietățile mecanice ale oțelului.

e) Testarea oțelului marca 52 la încercările specifice la fisurabilitate la sudare dovedesc o comportare bună a acestuia. Mai mult și la încercarea cu privire la capacitatea de călire oțelul se comportă bine. În schimb la încercările care evidențiază efectul de bridare în prezența unor defecte de execuție a cusăturilor sudate se produce și fisurarea, deci rezistența de rupere a materialului este depășită.

f) Prin diversificarea de către autor a probelor pentru testarea la fisurabilitate se evidențiază influența sudurii asupra elementelor din mări diferite ale oțelului și prezinți diverse ale acestora :

g) dintre probele utilizate cele care sînt mai sensibile V_0 V_0 leri ale durității HV_5 sînt : încercarea la fisurare pe probe sudate în unghi și la probe CNS modificate după Cranjon, la ultime constatându-se și fisuri produse la roca, provenite din defecte de execuție. Explicația constă în faptul că la alegerea cusăturilor se are în vedere după rășirea completă a celor precedente;

h) încercările sînt executate pe probe cu suduri de colț, cazuri întâlnite la creșterea nodurilor sudate la mîrșe naturală din esp.7 și 1000-ii.

3. DEFORMATIILE SI TENSIUNILE REMANENTE PRODUSE IN

IMBINARILE SUDATE

3.1. Originea deformațiilor

In cazul imbinărilor sudate prin topire și in special la cele executate manual, se produc deformațiile cele mai accentuate.

Datorită căldurii introdusă in elementele de sudat se produc deformații liniare definite prin relația:

$$\Delta x = \alpha \cdot l \cdot \Delta t \quad (\text{mm}) \quad (3.1.1)$$

unde:

α = coeficientul de dilatare termică al oțelului pentru domeniul respectiv al temperaturii ;

l = lungimea inițială a elementului ;

Δt = diferența dintre temperatura maximă obținută prin încălzirea piesei și temperatura inițială a piesei.

Deformațiile se pot produce in următoarele cazuri distincte prezentate in figura 3.1.1.

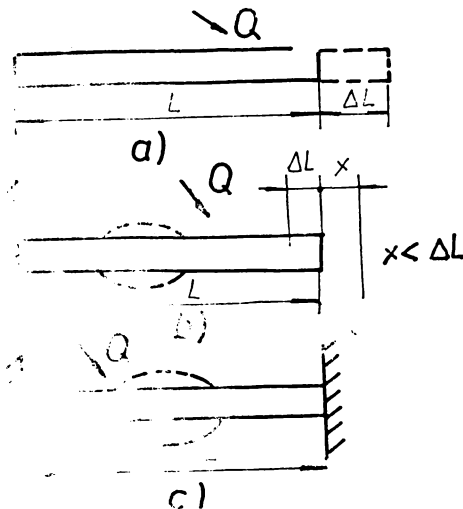


Fig.3.1.1.

Producerea deformațiilor in cazul sudurii

Cazul „ a ”

Piesa încălzită cu lungimea inițială L are un capăt liber ceea ce permite deformarea liberă cu ΔL , datorită căldurii Q primită de piesă.

Când $Q = 0$, adică după răcirea piesei pînă la temperatura inițială, piesa va reveni la lungimea inițială l , fără a rezulta nici o deformare remanentă.

Cazul „ b ”

Sub acțiunea căldurii Q , piesa incastrată la un capăt are posibilitatea de a se deforma liber, pînă acest lucru este posibil, in limita distanței „ X ”. Fiindcă deformarea liberă a piesei nu mai este posibilă sub acțiunea căldurii primită, atunci conform legilor deformării plastice, piesa va suferi o deformare transversală. La răcirea piesei, avînd in vedere că o parte din volumul materialului din piesă a fost utilizat

la deformarea transversală (umflătură), piesa nu mai revine la lungimea inițială, ci va suferi o contracție cu segmentul ΔL_1 , însă fără tensiune remanentă.

Cazul „ c ”

Piesa este incastrată la ambele capete, astfel că sub acțiunea căldurii Q primită, aceasta nu-și poate mări lungimea inițială. În acest caz la încălzire piesa se va deforma numai transversal.

La răcire piesa va rămâne cu deformarea transversală (umflare), dar și cu tensiuni remanente.

Se înțelege că la sudarea pieselor se va întâlni cel mai frecvent cazul „ c ”, adică cu deformații și cu tensiuni remanente.

La o îmbinare sudată cap la cap, executată dintr-un oțel nealiat, cu carbon puțin se vor distinge următoarele zone:

- metalul topit (baia cusăturii) la care temperatura depășește 1400°C , zonă lipsită de tensiuni ;

- zona cu temperaturi cuprinse între 1400 și 721°C , în care sînt prezente deformațiile elasto-plastice de dilatare, cu prezența tensiunilor de tracțiune ;

- zona cu temperaturi în domeniul 721 la 580°C , caracterizată prin deformații elasto-plastice de contracții, cu tensiuni remanente de compresiune ;

- zona temperaturilor sub 580°C , unde sînt prezente deformațiile elasto-plastice de dilatare, cu prezența tensiunilor de tracțiune.

Fenomenele metalurgice din cusătura sudată sînt tranzitorii și se reproduc în zone succesive odată cu deplasarea electrodului, adică a sursei de căldură, definită prin viteza de sudare.

Se reține faptul că sursa deformațiilor și a tensiunilor remanente din metalul sudat este pe o parte consecința încălzirilor și răcirilor neuniforme, în zonele succesive ale diferitelor zone ale materialului, care nu permit deformarea liberă a metalului, ceea ce conduce inevitabil la prezența deformațiilor și a tensiunilor remanente.

Pe de altă parte se cunoaște că transformările de fază sînt însoțite de creșterea volumului, ca și de obținerea unor constituenți duri și fragili.

Tensiunile de sudare pot fi modificate sub acțiunea proceselor termice, avînd în vedere valoarea limitei de curgere.

Dacă T_0 este temperatura la care limita de curgere devine nulă, iar materialul în timpul sudării ajunge la temperatura T , se

disting următoarele cazuri :

a) $T < T_0$ limita de curgere nu se reduce valoric și nu se anulează tensiunile produse la sudare ;

b) $T > T_0$ limita de curgere se va reduce considerabil, care va conduce la micșorarea corespunzătoare a tensiunilor ;

c) $T = T_0$ limita de curgere devine nulă și tensiunile interne se vor anula și nu mai apar la răcirii ulterioare.

Trebuie avut în vedere că limita de curgere reală diferă față de cea considerată teoretic, iar încălzirea piesei nu este uniformă, ceea ce împiedică anularea tensiunilor. Datorită încălzirii rezistența se micșorează, iar la reducerea temperaturii limita de curgere va crește, ceea ce conduce la lipsa deformațiilor plastice și deci la reducerea tensiunilor remanente.

În cele ce urmează vor fi prezentate în figura 3.1.2 câteva exemple reprezentative ale unor îmbinări sudate uzuale [145] .

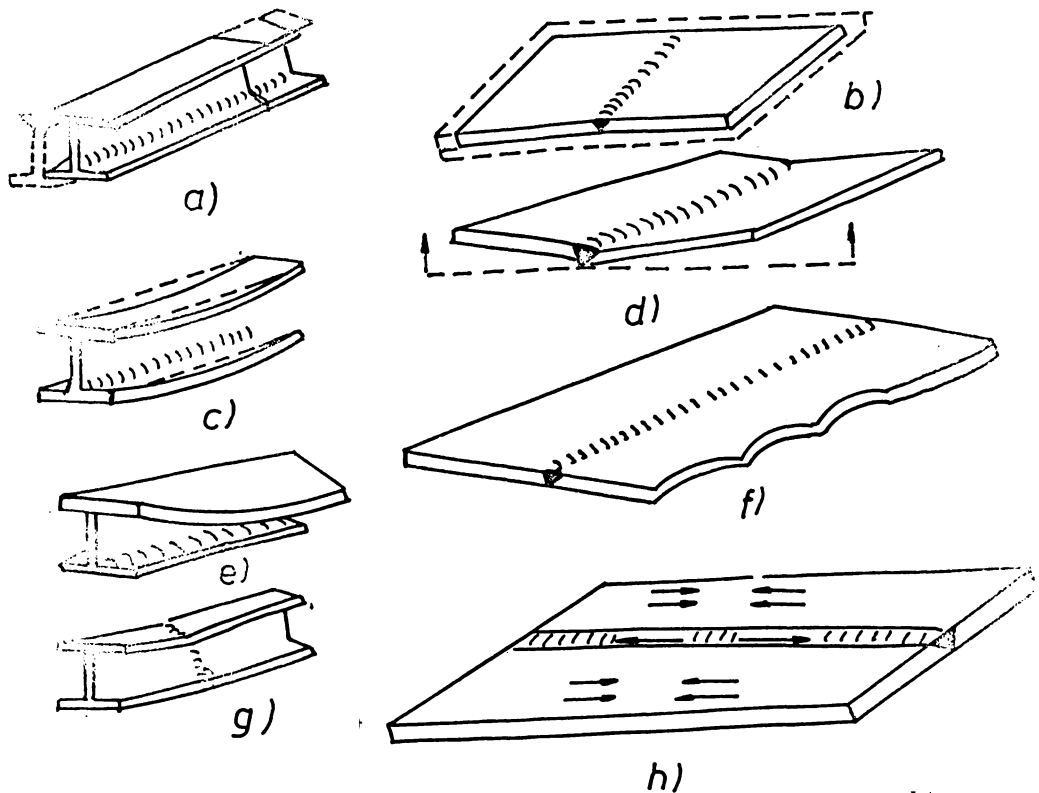


Fig.3.1.2.
Exemple ale deformațiilor celor mai simple
elemente sudate [145] .

Deformațiile rezultate ca urmare a procesului de sudare pot fi caracterizate prin deplasări uniforme ale punctelor construcției sudate după o axă sau după ambele axe, în care caz pot fi neglijate deplasările după a treia axă. Astfel de deformații pot să apară în cazul sudării ideale a unor profile dublu T, când cele patru cusături sînt executate simultan în același regim de sudare (figura 3.1.2 a și b). În acest caz nu se produc pierderi ale stabilității dimensionale.

Dacă la sudarea profilelor T sau I cusăturile nu sînt executate concomitent, respectiv acestea sînt sudate succesiv, situația creată va conduce la deformații longitudinale prezentate și la îndoirea transversală a profilului (fig. 3.1.2.c).

Sudarea neuniformă a inimii și a tălpilor cu grosime mare va avea ca rezultat deformarea transversală, așa zisă în ciupercă (figura 3.1.2.d).

Dacă deformarea elementelor se face în plan, însă deplasarea punctelor pieselor asamblate nu se realizează uniform de-a lungul cusăturii se poate produce deformarea de rupere în planul transversal de secționare, din cauza construcției transversale și a rotirii unui element față de celălalt (fig. 3.1.2.d).

Sub acțiunea forțelor de compresiune (fig. 3.1.2.h), pot să producă instabilitatea dimensională (vealarea) elementelor componente (fig. 3.1.2.f).

Deformațiile de tensiune pe direcția axei longitudinale caracteristice la grinzile sudate, sînt cauzate de eventualele deformări cu deplasarea de poziție a marginilor din zona de încălzire la sudarea pieselor (fig. 3.1.2.e).

Aceste deformații nu pot fi explicate fără acționarea unor forțe exterioare la grinzile sudate prin topire.

Sub acțiunea forțelor de compresiune (fig. 3.1.2.h), deformațiile pot să producă instabilitatea dimensională (vealarea) elementelor componente (fig. 3.1.2.f).

3.2. Considerații cu privire la calculul analitic al tensiunilor și deformațiilor

Considerînd corpul sudat ca un întreg, tensiunile interne acționează triaxial și în lipsa unor forțe exterioare formează un sistem în echilibru, iar prin producerea unui dezechilibru vor fi eliberate tensiunile interne [168].

Tensiunile remanente orientate sînt produse de forțele exterioare, care împiedică deplasarea elementelor construcției sudate,

ca și de solicitățile neuniforme și de variațiile temperaturii ale construcțiilor sudate static nedeterminate. Acestea se referă în general la un volum mare de material și depășesc uneori limita de curgere provocând deformațiile plastice.

În cazul îmbinărilor sudate sînt prezente :

- tensiunile de ordinul întâi macroscopice, produse de deformațiile plastice neuniforme ;
- tensiunile de ordinul doi care se echilibrează în volume microscopice, provocate de deformațiile termoplastice ;
- tensiunile de ordinul trei echilibrate în volume ultramicroscopice, produse de transformările structurale și de fază ale metalului.

S-a căutat ca prin relații matematice să se prezinte propagarea căldurii, tensiunile termice tranzitorii, tensiunile remanente și alte efecte ale acestora. Factorul cel mai important care provoacă tensiunile, deformațiile și celelalte efecte ale sudării este modul de propagare al căldurii într-un ansamblu sudat.

O atenție deosebită trebuie acordată fenomenelor metalurgice care însoțesc procesul de sudare prin topire [161, 120]

Rosenthal la începutul deceniului al patrulea al secolului nostru a stabilit o relație în ceea ce privește conductibilitatea căldurii într-un solid, considerînd cazul unei surse de căldură în mișcare, în cazul stării semi-staționară (sistemul de coordonate se deplasează odată cu sursa de căldură) și în cazul sursei punctiforme (căldura concentrată într-un punct sau pe o linie) [140]

Cercetările efectuate de Adams și Rikalin s-au referit tot la starea semi-staționară a sursei de căldură [4, 142].

Studiile făcute de Tanaka, Naka și Masubuchi considerînd același caz au concluzionat că vitezele de răcire au valori mari în apropierea extremităților unei cusături sudate sau în punctul arcului [167, 107, 108, 95] .

Încercările pentru utilizarea relațiilor matematice de către Nippes și Savage în vederea studierii vitezelor de răcire din zonele afectate termic, folosind relațiile lui Rosenthal nu au condus la o identitate între rezultatele analitice și cele experimentale [118, 119] .

S-a apelat și la utilizarea ordinatorilor pentru cercetarea fenomenelor termice de la o îmbinare sudată la Institutul Battell din Geneva, Universitatea din Wisconsin, Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.), concluzionîndu-se că este posibilă modela-

rea căldurii care rezultă la sudare ca o sursă repartizată, care corespunde mai bine ca o sursă concentrată. De asemenea este posibilă stabilirea unei dependențe între proprietățile termice funcție de temperatură [105, 38] .

Problemele cercetate la M.I.T. în legătură cu tensiunile termice din timpul sudării, folosind instrumentul matematic și confruntându-le cu datele obținute experimental au condus la concluzia că concordanța deplină dintre rezultatele analitice nu sînt confirmate experimental în general, avînd în vedere transformările structurale, faptul că nu a fost cu putință modelarea matematică a proceselor reale de încălzire ale pieselor în timpul sudării, ca și complexitatea modului după care rezultă deformațiile la elementele sudate [92, 102, 103] .

Merită a fi subliniate rezultatele obținute de Ueda și Satoh în privința tensiunilor termice tranzitorii produse la sudarea tablilor groase [149, 175] .

Rezultatele obținute pe probe de laborator nu sînt comparabile cu cele obținute în realitate, avînd în vedere efectul de bridare la construcțiile sudate complexe și efectul masei acestora.

Dacă efectul masei elementelor componente în ceea ce privește transmiterea căldurii poate fi reprezentat matematic, în schimb efectul de bridare este mai dificil de a fi modelat [78, 91, 161] .

Ca exemplu la construcțiile sudate tip panou, întărite prin nervuri longitudinale și transversale se produce o voalare, după cum este indicat în fig. 3.2.1. Din cauza deformațiilor unghiulare

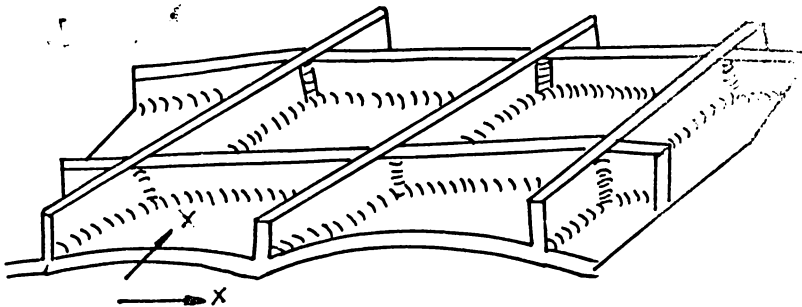


Fig. 3.2.1
Deformațiile la o construcție sudată tip panou

produse în lungul cusăturilor de colț dintre nervură și tablă are loc voalarea acestora, deformația variînd după direcțiile X și Y.

Calculul bidimensional în aceste cazuri este foarte compli-

cat, ceea ce limitează la considerarea numai a deformațiilor de pe direcția X. Analiza bi-dimensională a fost cercetată de Gularte, care a utilizat un program bazat pe metoda elementelor finite și a datelor experimentale furnizate de Deffy.

Experimentările au fost reluate de M.I.T iar Shin pe baza principiului energiei minime stabilite de Masubuchi a cercetat deformațiile bi-dimensionale ale panoului sudat folosind un model [89,93].

Cercetarea tensiunilor și a deformațiilor datorită bridării și tendinței de fisurare a sudurilor pentru diferite tipuri de îmbinări a făcut obiectul unor comunicări [149].

Stabilirea deformațiilor remanente se face folosind metodele analitice pe baza efectelor termodinamice și de deformare. Soluția termodinamică constă în a determina mărimea forței de contracție a mării contracției transversale în lungimea și în grosimea îmbinărilor și a altor deformații care apar în zonele îmbinării sudate.

La rezolvarea deformațiilor se apelează la teoria elasticității și a plasticității, teoria peliculelor (a învelișurilor), iar pentru stabilirea deformațiilor în timp a construcțiilor sudate se apelează la teoria fluajului.

În majoritatea cazurilor deformațiile permanente care apar la sudarea pieselor pot fi calculate prin aplicarea unor forțe fictive care să acționeze asupra construcției, determinate fie prin rezolvarea termodinamică sau experimentală, după mărimea tensiunilor remanente.

Pentru rezolvarea problemei se impune a ține cont de modificările caracteristicilor fizico-mecanice ale materialului de bază, datorită efectului căldurii și a dislocațiilor produse în rețeaua cristalină.

Pentru a estima prin calcule toate influențele și modificările provocate de procesul de sudare trebuie să se cunoască valoarea energiei termice introdusă în metal, să fie determinate ciclurile termice pentru fiecare punct al Z.I.T, ca și diagramele de descompunere a austenitei, spre a cunoaște structura în această zonă. Ținând cont de dilatări și contracțiile oțelului se poate obține stabilirea nivelului tensiunilor din metal.

Cunoscând atmosfera din zona sudurii și pe baza ecuațiilor termodinamice poate fi determinată cantitatea de gaze care pătrunde în Z.I.T.

Totuși calculul real al tensiunilor din Z.I.F. este îngreunat și prin faptul că nu poate fi exprimată prin relații matematice influența structurii din întreaga secțiune sudată și nici conținutul de gaze introduse. În imbinare nu poate fi corect determinat.

Instabilitatea dimensională trebuie a fi reglată prin cercetarea proceselor de deformare spontană a construcțiilor sudate, prin stabilirea naturii fizice a fenomenelor care o generează, iar la proiectare să se țină cont de rezultatele obținute prin cercetarea problemei, pentru a fi evitate neajunsurile din exploatare cauzate de acest fenomen [234].

3.3. Concluzii

Din cele prezentate rezultă dificultăți apreciabile la determinarea deformațiilor și a tensiunilor care rezultă la sudarea metalelor, având în vedere complexitatea factorilor care le generează, a caracterului tranzitoriu al acestora, a dificultății în ceea ce privește identificarea mărimilor care le definesc și a imposibilității de a exprima prin relații matematice a tuturor fenomenelor, mai ales acelea cu caracter metalurgic și structural.

Toate cele prezentate conduc la imposibilitatea de a rezolva analitic problema în ansamblu.

Particularitățile legate de proprietățile metalului utilizat la imbinarea sudată, de variația stării de tensiune inițială a acestuia, ca și de condițiile reale de execuție a cusăturii sudate, în mod deosebit la sudarea manuală, conduce ca la fiecare reper, subansamblu sau produs să se obțină în final spectre diferite ale deformațiilor și implicit a tensiunilor.

Ținând cont de cele prezentate rezultă că determinarea experimentală a deformațiilor este preferabilă, dar având în vedere că starea de tensiune nu poate fi stabilită decît analitic, aceasta implică însă a fi cunoscute caracteristicile tehnice efective ale materialului influențate de procesul de sudare.

Pentru optimizarea imbinărilor sudate sînt indicate calcularea analitică a imbinărilor sudate, modelarea fizică prin similitudine și apoi modelarea la mărime naturală.

4. DETERMINAREA EXPERIMENTALA A DEFORMATIILOR

Stabilirea nivelului de tensiune se realizează analitic prin folosirea legii lui Hooke, pe baza valorii deformațiilor determinate experimental.

Cele mai utilizate metode pentru măsurarea deformațiilor sînt bazate pe extensometrie, adică tehnica care permite determinarea deformațiilor mici ca valoare și anume extensometria electrică și cea mecanică.

În cadrul experimentărilor efectuate s-a considerat ca metoda cea mai indicată pentru măsurarea deformațiilor în condiții industriale și în cazul ansamblor sudate să fie folosită extensometria mecanică pentru următoarele argumente :

- ↳ metoda este independentă de orice formă de energie ;
- măsurările corespund mai bine condițiilor de atelier și acestea nu sînt influențate de cablurile de legătură cum este cazul extensometriei electrice. Din această cauză ansamblul sudat poate fi mișcat în timpul operațiilor inerente și impuse de procesul de sudare ;
- tehnologia de linire a traductorilor rezistivi ridică anumite probleme dificil de respectat și care influențează apreciabil rezultatele măsurărilor efectuate ;
- metoda extensometriei mecanice urmărită în timp, practic nelimitat, a dimensiunii deformațiilor, ceea ce permite emiteri de aprecieri asupra stabilității dimensionale a pieselor sudate în condițiile de exploatare ;
- influența temperaturii asupra preciziei măsurării este corectată cu ajutorul corpului etalon din invar, extensometria mecanică nefiind influențată și de umiditatea mediului, ca în cazul extensometriei electrice.

În schimb extensometria mecanică nu poate fi utilizată în cazul măsurării deformațiilor în regim dinamic, în care caz se poate utiliza exclusiv extensometria electrică.

În cele ce urmează se prezintă metoda extensometrică mecanică utilizată.

4.1. Măsurări comparative executate prin extensometria electrică și mecanică

Extensometria mecanică s-a executat în extensometrul mecanic sistem Pfender [100, 163].

La extensometria mecanică baza de măsură poate să aibă mărimi diferite, în cazul utilizat fiind de 20, 40, 60 și 100 mm. Baza de măsură este un segment liniar delimitat prin bile din oțel cu diametrul de $1/16''$, care se fixează pe suprafața piesei printr-o tehnologie realizată cu dispozitivele prezentate în figura 4.1.1.

Dispozitivul 1 care imprimă pe suprafața piesei 2 locașurile pentru bilele din oțel care vor defini lungimea „ l_0 ”, a bazei de măsură (fig. 4.1.1.a, b). Aceste locașuri sînt apoi rotunjite cu ajutorul dispozitivului din fig. 4.1.1.c, iar în fig. 4.1.1.d se arată modul de introducere al bilelor 3, în jurul cărora metalul este refulat cu ajutorul dispozitivului 4. Modul de așezare al extensometrului mecanice 5 pe bilele din oțel de pe suprafața 2 a piesei se prezintă în fig. 4.1.1.e.

Extensometrul mecanic sistem Pfender fabricație Mohr & Federhaff (R.F.G) este prezentat în fig. 4.1.2, acesta fiind alcătuit dintr-un comparator și un sistem de pîrghii. Aparatul permite măsurarea deformațiilor în intervalul 0,001...0,5mm. Înainte de a măsura deformația extensometrul va fi etalonat cu ajutorul etalonului din invar, așezat pe suprafața piesei, pentru a se face corecturile funcție de temperatură. Fazele de măsurare sînt prezentate în fig. 4.1.3.

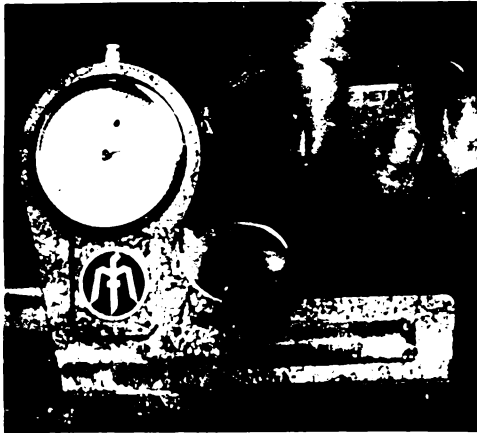


Fig. 4.1.2.
Extensometrul mecanic sistem Pfender

În fig. 4.1.3.a. se poate urmări modul de așezare al extensometrului pe cele două bile care delimitează baza de măsură, dispozitivul din

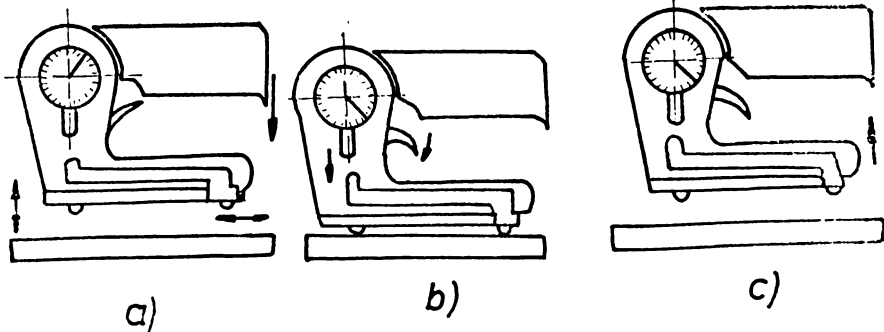
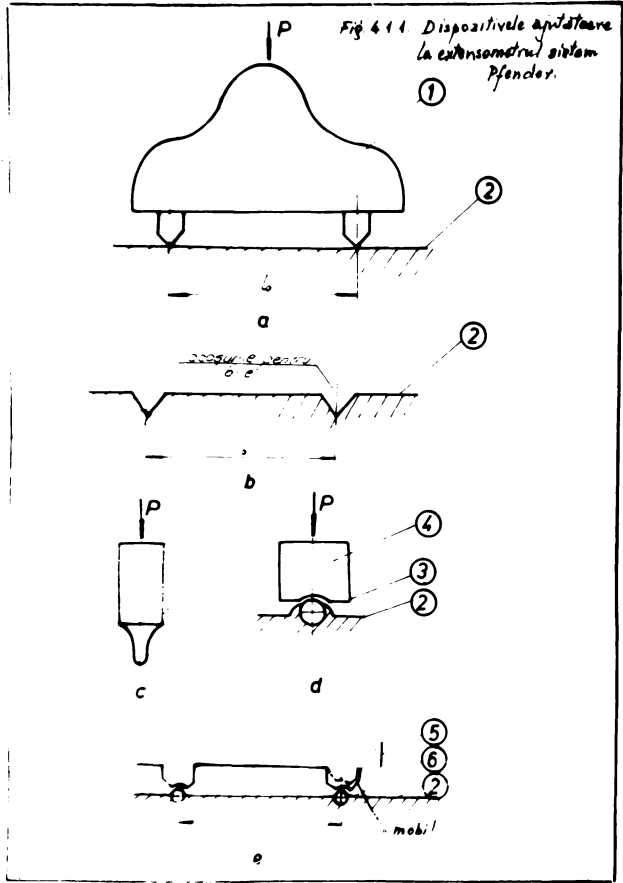


Fig. 4.1.3.
Modul cum se execută măsurarea deformațiilor cu extensometrul Pfender



dreapta fiind mobil (fig.4.1.1.e) și este eliberat cu ajutorul pîrghiei. Acul comparatorului urmărește modificarea survenită conform lungimii segmentului respectiv.

În fig.4.1.3.b. se observă extensometrul așezat pe bilele din oțel și blocarea comparatorului la valoarea obținută anterior cu ajutorul pîrghiei. După aceea extensometrul se va ridica după bilele din oțel, după cum se arată în fig.4.1.3.c.

Pentru determinarea efortului unitar (σ) rezultat funcție de deformația măsurată (ϵ) se va aplica legea lui Hooke. Avînd în vedere caracteristicile aparatului deformația specifică minimă (σ_{\min}) va fi :

$$\epsilon_{\min} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0,001}{100} = 0,00001$$

iar

$$\sigma_{\min} = \epsilon \cdot E = 0,00001 \cdot 21000 = 0,21 \text{ daN/mm}^2$$

În tabelul 4.1.1. se prezintă valorile minime pentru bazele de măsură utilizate care de fapt sînt și erorile de măsură.

Tabelul 4.1.1.

Deformațiile minime măsurate și valoarea tensiunilor respective

Baza de măsură (mm)	Eroarea de măsură	
	pentru deformația specifică	tensiunea corespunzătoare (daN/mm ²)
20	0,00005	1,025
40	0,000025	0,5125
60	0,000016	0,3280
100	0,000010	0,2050

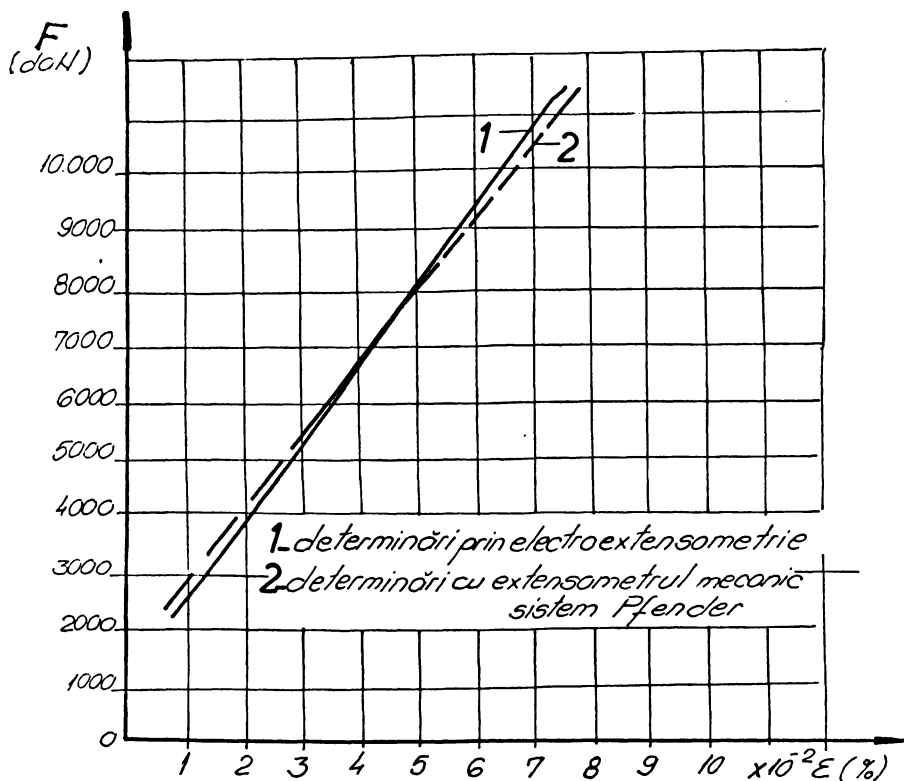
Comparînd valorile deformațiilor obținute prin electrotenso-metrie și extensometria mecanică se constată că acestea sînt comparabile după cum se prezintă în fig.4.1.4.

4.2. Cercetarea deformațiilor rezultate pe o probă din oțel sudată prin măsurări efectuate la suprafața și în adîncimea probei

4.2.1. Scopul cercetării

Cercetarea și-a propus să prezinte rezultatele obținute prin determinarea deformațiilor obținute la suprafața probelor sudate și la adîncimea de 10 mm de la suprafața aceasta [31].

4.2.2. Pregătirea probelor



$F = \text{forță}$
 $E = \text{deformații specifice}$

Fig.4.1.4.
Determinarea experimentală a deformațiilor prin cele două metode

Probele au fost prelevate din tablă de oțel marca OL 37, STAS 500 și St.37-3.DIN 17100. Acestea au constat din sudarea unor plăci cu dimensiunile 5 x 130 x 100 mm, fiind formate pachete din câte 3 asemenea plăci, spre a se obține grosimea finală de 15 mm.

Plăcile au fost rigidizate prin puncte de sudură la capete și lateral. Pachetele astfel formate, au fost apoi sudate cap la cap, îmbinarea fiind în V, cu unghiul de deschidere de 70°.

Una din plăci care a fost așezată în pachet la adâncimea de 10 mm de la suprafața probei, a fost pregătită prin frezare prealabilă sudării, astfel ca să fie posibilă montarea traductoarelor electrice rezistive și scoaterea în afară a cablurilor electrice.

Prin această a fost posibilă efectuarea măsurării deformațiilor la adâncime respectivă.

Măsurarea deformațiilor s-a făcut folosind extensometria mecanică și electrică.

Pentru măsurarea mecanică a deformațiilor au fost folosite segmentele cu baza de măsură de 20 mm - delimitate cu ajutorul bilelor din oțel, avînd diametrul 1/16", iar pentru extensometria electrică au fost utilizate traductoare electrice rezistive cu baza de 20 mm pentru măsurări la suprafața probei și cu baza de 10 mm pentru măsurările efectuate în adîncimea probei.

In fig.4.2.2.1. și 4.2.2.2. se prezintă poziția segmentelor

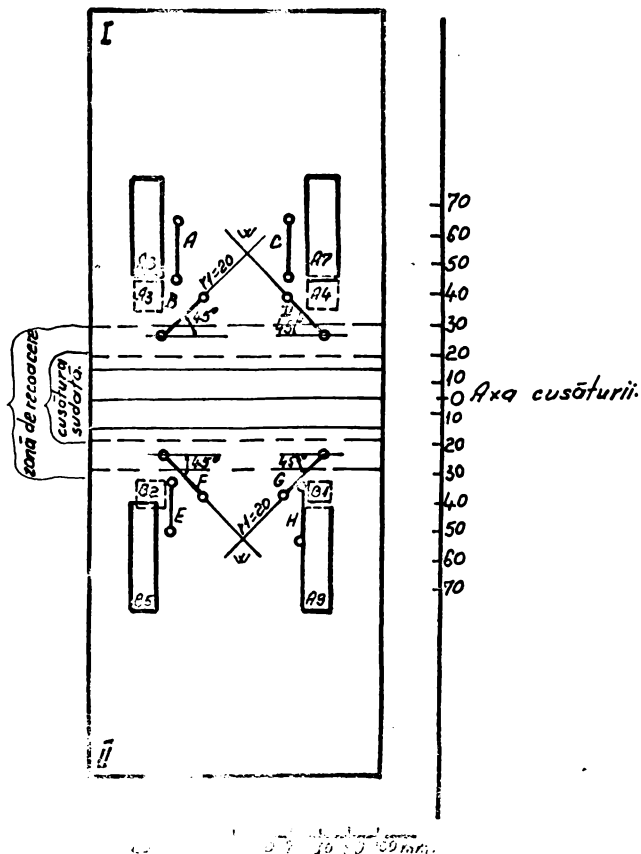


Fig.4.2.2.1.

Locul de amplasare al mărcilor tensometrice și delimitarea segmentelor cu bile din oțel la plăcile sudate din OL 37 (scara 1:2)

și a traductoarelor rezistive la suprafața probei reprezentate cu linie continuă și cu linie întreruptă pentru cele care se găsesc la adîncimea de 10 mm de la suprafața probei. Măsurările prin extensometria mecanică au fost executate cu ajutorul segmentelor A, B, C, D, E, F, G, și H la proba din oțel marca OL 37 și cu segmentele I,

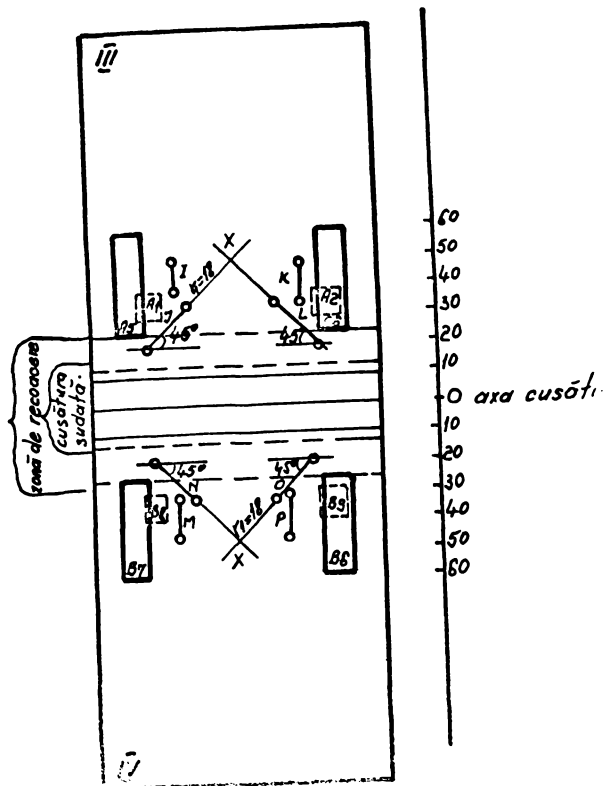


Fig.4.2.2.2.

Locul de amplasare al mărcilor tensometrice și delimitarea segmentelor cu bila din oțel la plăcile sudate din ST 37-3 (scara 1:2)

J, K, L, M, N, O și P pentru proba din oțel marca ST 37-3. Traductoarele rezistive sînt reprezentate prin A7, A8, A9 și B5, la suprafața probei din oțel marca OL 37, iar prin A3, A4, B1 și B2 pentru traductoarele la adîncime.

La proba din oțel marca ST 37-3 traductoarele de la suprafață sînt A5, A6, B6 și B7 iar cele de la interior A1, A2, B8 și B9.

Pentru aprecierea poziției segmentelor și a traductoarelor rezistive în fig.4.2.2.1 și 4.2.2.2., sînt alăturate probelor scările milimetrice față de axa cusăturii sudate, respectiv a lățimii probei.

4.2.3. Sudarea probelor

Pachetele ~~sudate~~ sînt sudate cap la cap, regiunile de suda-

re fiind prezentat în tabelul 4.2.3.1.

Tabelul 4.2.3.1.

Regimul de sudare al probelor

Sir	Electrodul folosit Tip	Diametru (mm)	Regim sudare		Locul depunerii	Temperatura (°C) lângă cusătură pt. proba din:	
			Tens. arc U _a (V)	Curent sudare I _s (A)		OL 37	St 37-3
I	Rapid	3,25	28	130	mijloc	65	65
II	rapid	3,25	28	130	mijloc	200	150
III	uniterm	4,0	25-30	200	mijloc	300	200
IV	uniterm	4,0	25-30	200	dreapta	400	280
V	uniterm	4,0	25-30	200	stinga	400	375
VI	uniterm	4,0	25-30	200	dreapta	-	375
VII	uniterm	4,0	25-30	200	stinga	-	420

În timpul sudării a fost măsurată temperatura la suprafața probei lângă cusătură cu ajutorul crețelor Termochrom de fabricație AW Faber-Castell (R.F.G). Îmbinarea sudată a fost realizată prin depunerea a 5 straturi în cazul probei din oțel OL 37 și din șapte straturi pentru proba din oțel St 37-3. Depunerea stratului următor s-a făcut numai după măsurarea deformațiilor rezultate.

4.2.4. Măsurarea deformațiilor

Măsurarea deformațiilor s-a executat în cazul extensometriei mecanice folosind extensometrul sistem Pfender, care permite măsurarea unei deformații minime de 0,001 mm, ceea ce corespunde la baza de măsură aleasă de 20 mm unei precizii de 0,005 % [88,163,100].

Extensometria electrică s-a efectuat folosind puntea Komb.Messfrequenz - Modulator, fabricație dr.Gunter Lange (R.D.G) care permite determinarea valorilor pentru deformațiile specifice de la 0,005 la 10⁰/00.

În timpul sudării, unele locuri de măsură au fost deranjate astfel că determinările nu s-au făcut în toate cazurile propuse.

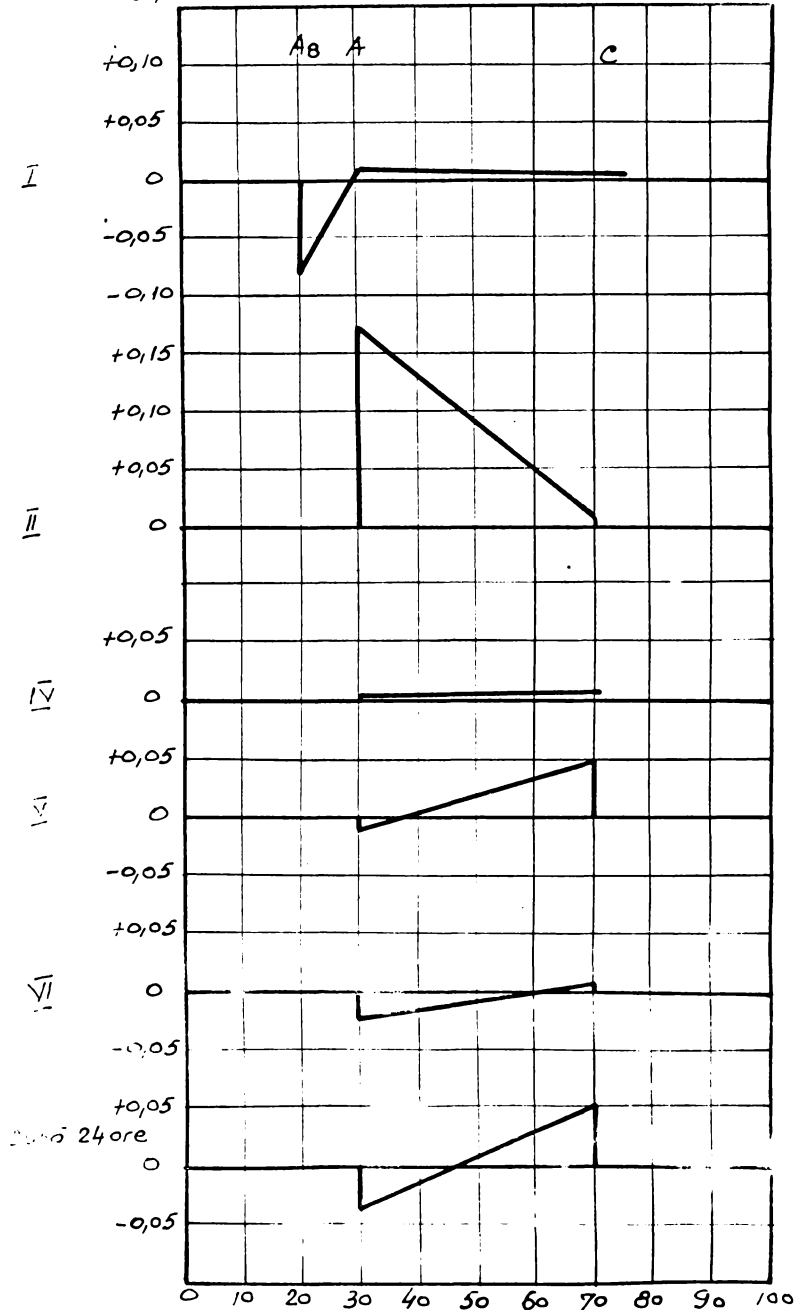
Deformațiile au fost măsurate după depunerea fiecărui strat de sudură, sudarea fiind continuată numai după efectuarea măsurătorilor. Umplerea rostului s-a executat cca.90% pentru a nu se deteriora tractoarele rezistive și îmbinarea a fost fără completare la rădăcină, având în vedere faptul de a nu produce deranjamente în circuitele electrice prin întoarcerea probelor.

Se deduce că aproximativ aceeași cantitate de metal topit a fost depus în cazul plăcilor din OL 37 numai în 5 straturi: compa-

rație cu 7stratură la plăcile sudate din oțel St 37-3.

Deformațiile finale ale plăcilor au fost de 3° la plăcile sudate din oțel marca OL 37 și 8° la plăcile sudate din oțel marca ST 37-3.

În figurile 4.2.4.1 și 4.2.4.2 se prezintă variația deforma-



Variația $E\%$ la distanțele de 20, 30, 70 mm de la marginea plăcii sudate și după straturile depuse (placă I din OL 37)

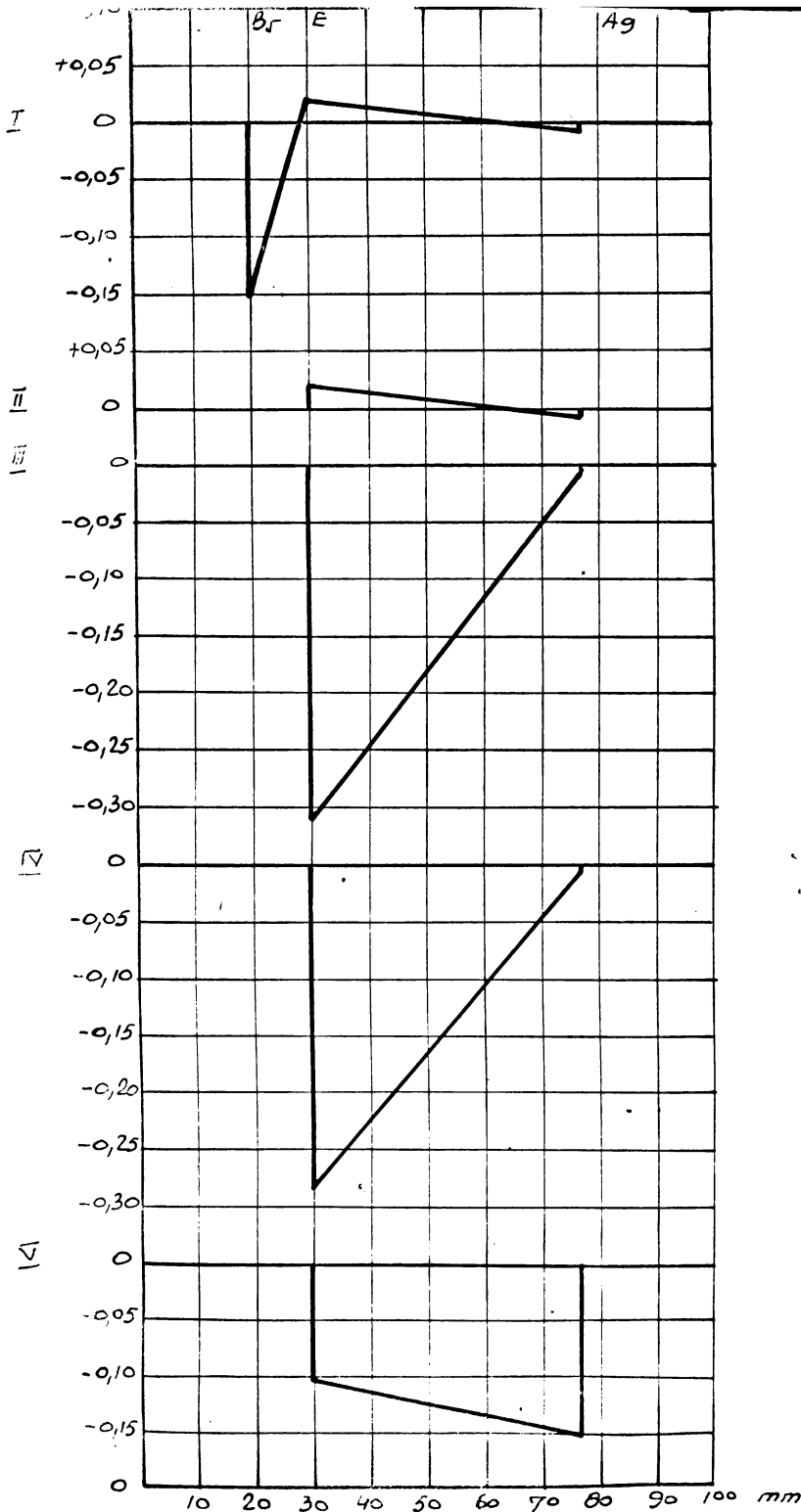


Fig.4.2.4.2

Variatia ϵ % la distantele de 20...70 mm de la marginea probei sudată și după depunerea straturilor de sudură (placa II din OL 37)

țiilor la suprafața sudată din oțel marca OL 37 iar în fig.4.2.4.3 deformațiile la adâncimea de 10 mm față de suprafața aceleiași probe.

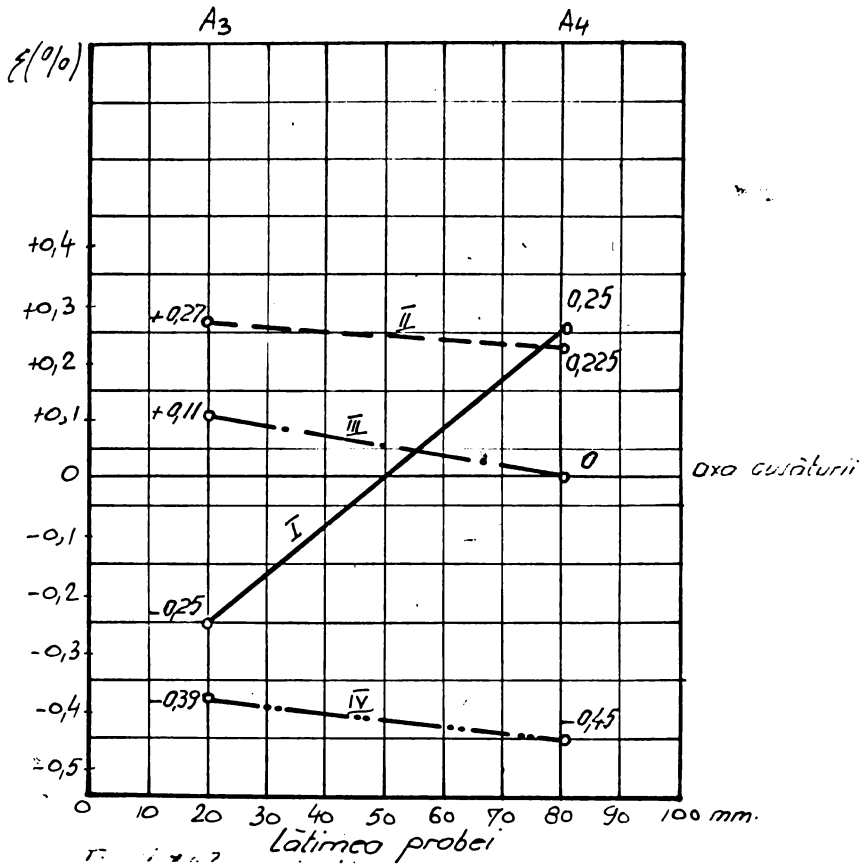


Fig.4.2.4.3.

Variația % pentru placa I OL 37 după depunerea primelor 4 straturi de sudură (măsurări executate la 10 mm adâncime față de suprafața plăcii și la 35 mm față de cusătura sudată)

- 1) o—o după primul strat
- 2) o---o după al 2-lea strat
- 3) o...o după al 3-lea strat
- 4) o....o după al 4-lea strat

Se constată în cazul plăcii I din OL 37 că deformațiile mai apreciabile sînt obținute după depunerea primelor straturi, după care acestea devin neînsemnate, menținînd aceeași alitură a curbei de variație a deformațiilor. De remarcat că după 24 de ore de la terminarea sudării, se produce aproape o echilibrare a deformațiilor față de axa de simetrie a plăcii.

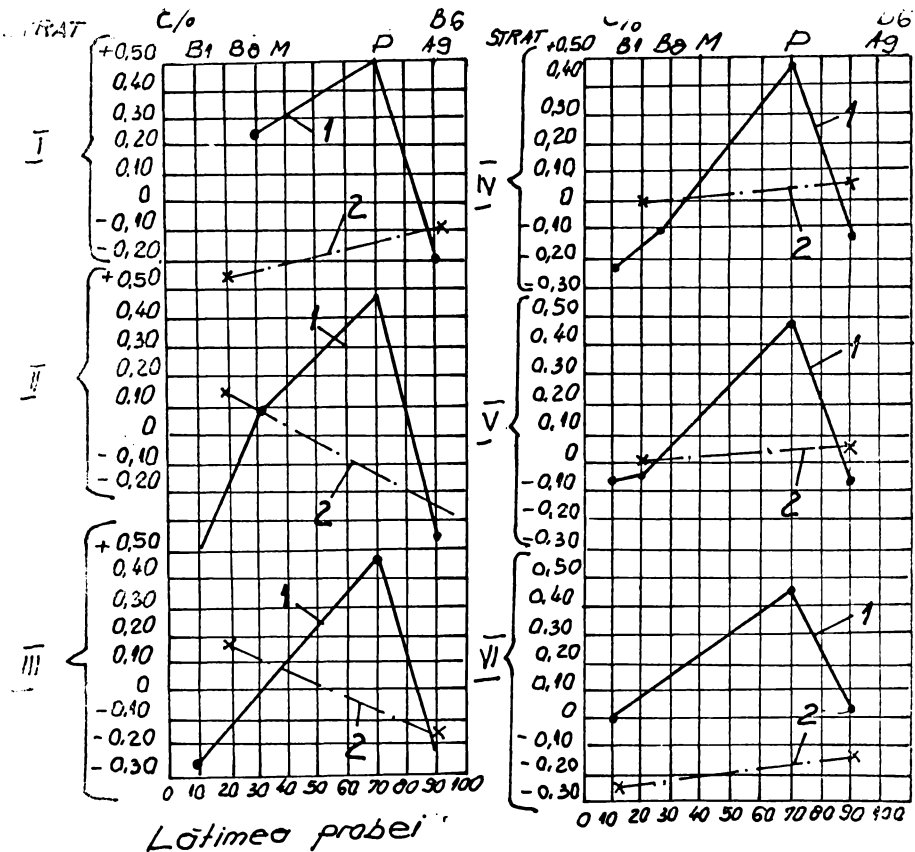
Placa a II-a care este proba sudată din OL 37 prezintă deformații mai pronunțate, respectiv contractii care ajung pînă la -0,34,

deci cu depășirea deformației corespunzătoare limitei de curgere.

De remarcat că la depunerea ultimului strat deformațiile se reduc ca valoare.

Figura 4.2.4.3 se referă la variația deformațiilor din zona interioară a probei sudate la adâncimea de 10 mm de la suprafața acesteia. Se constată deformații apreciabile ca mărime (0,25 %) și simetrice după depunerea primului strat. După depunerea rîndurilor de sudură 2 și 3 se obțin deformații pozitive (alungiri) cu valori maxime de + 0,27 %. În schimb, după depunerea ultimului șir se constată numai contracții cu valori maxime de până la - 0,45 %.

În ceea ce privește determinarea deformațiilor la proba din oțel marca St 37-3, variația acestora este prezentată în fig. 4.2.4.4.



- 1) —●— $\epsilon\%$ exterior
2) - -x- - $\epsilon\%$ interior

mărginea probei sudată și după depunerea straturilor de sudură (placa IV din St 37-3)

În acest caz, se constată o asemănare în ceea ce privește alinierea curbei deformațiilor de la suprafață cu un maxim constant la segmentul P, respectiv alungirea pînă la + 0,45 %, iar la margini cu contracția, pînă la - 0,40 %. Deformațiile interioare sînt mai pronunțate după depunerea primelor trei șiruri și după al șaselea șir, contracțiile maxime fiind - 0,25 %. Obținerea acestor deformații din timpul executării îmbinării sudate s-a făcut în condițiile răcirii complete a materialului între depunerea straturilor avînd în vedere timpul necesar efectuării măsurărilor.

Pentru determinarea tensiunilor remanente au fost considerate segmente înclinate la 45° față de axa cusăturii sudate: segmentul B și D pentru proba din oțel OL 37 și segmentele O și N pentru proba din St 37-3. Direcția acestor segmente este 90° unul față de altul.

Prin determinarea punctelor de intersecție a celor două direcții, se determină valoarea razei r_1 , pentru fiecare probă. Construind un arc de cerc cu raza r_1 și centrul determinat de intersecția celor două direcții ale segmentelor înclinate pe acest arc de cerc și la un unghi de 135° față de direcțiile segmentelor B și D pentru proba din OL 37 respectiv O și N pentru proba din St 37-3 au fost fixate segmentele S și R, cu baza de măsură tot de 20 mm. În acest caz au fost obținută o rozetă cu centrul determinat de intersecția direcției segmentelor înclinate la 45° față de axa cusăturii sudată cu segmentele de măsură decalate la 90° respectiv 135° . S-a măsurat valoarea acestor segmente după sudare (cu extensometrul mecanic sistem Pfender).

După aceea a fost determinată valoarea acestor segmente după executarea unor găuri, în centrul rozetei cu dimensiunile de 6, 10, 20 și 30 mm.

În tabelul 4.2.4.1 se prezintă deformațiile obținute după executarea găurilor indicate.

Tabelul 4.2.4.1.

Deformațiile rezultate după efectuarea găurilor
pentru eliberarea tensiunilor

Diametrul ϕ (mm) al găurii	Proba din OL 37				Proba din St 37 - 3			
	r_1	B	D	S	r_1	O	N	R
6	18	0,002	0	0	20	-0,008	0	0
10		-0,010	0	0		-0,022	0	+0,004
20		+0,002	+0,002	0		-0,003	+0,009	+0,010
30		-0,005	+0,002	+0,002		+0,021	+0,015	+0,022

Determinarea deformațiilor specifice după câșuire

Pentru eliberarea tensiunilor rezonante se execută o găură cu diametrul 2 a cu centrul la distanța $r_2 = r_1 + 20$ mm, unde 20 mm reprezintă baza segmentului de măsură. Pentru proba din Cl. 37 $r_1 = 20$ mm, iar pentru proba din St 37-3 această a avut valoarea de 18 mm (tabelul 4.2.4.1).

Pentru stabilirea deformațiilor specifice după cele trei direcții după găurirea (ε_{0° , ε_{45° , ε_{90°) se folosesc relațiile 39 :

$$\varepsilon_{0^\circ} = L \varepsilon'_{0^\circ} + N(\varepsilon'_{45^\circ} + \varepsilon'_{90^\circ})$$

$$\varepsilon_{45^\circ} = L \varepsilon'_{45^\circ} + N(\varepsilon'_{0^\circ} + \varepsilon'_{90^\circ})$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = L \varepsilon'_{90^\circ} + N(\varepsilon'_{0^\circ} + \varepsilon'_{45^\circ})$$

unde:

$$L = \frac{B}{B'} \quad , \quad N = \frac{A^2 - A'^2}{2A'B'}$$

$$A = \frac{\lambda + \mu}{2} \quad B = \frac{\lambda - \mu}{2}$$

$$A' = \frac{\lambda + \mu}{2} \cdot \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2}$$

$$B' = \frac{2r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left[-1 + \frac{\lambda + \mu}{4} \frac{r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2}{r_1^2 \cdot r_2^2} a^2 \right]$$

$\mu = 0,3$ (coeficientul lui Poisson).

ε'_{0° , ε'_{45° și ε'_{90° sînt deformațiile specifice determinate prin măsurările efective executate pe segmentele de referință aflate pe cele trei direcții.

Cunoscîndu-se valoarea deformațiilor specifice după găurire eforturile unitare principale se determină prin relațiile cunoscute.

Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 4.2.4.2.

Prin aplicarea relațiilor pentru determinarea deformațiilor principale în cazul creant, după efectuarea găurilor cu diametri de 30 mm, executate în scopul de a elibera tensiunile remanente în cazul cel mai eficace [39] se obține valoarea acestora.

În tabelul 4.2.4.2 se prezintă pentru cele două probe deformațiile specifice remanente, care vor stabili în cele din urmă mărimea tensiunilor remanente.

Tabelul 4.2.4.2

Deformațiile specifice remanente

Proba sudată din oțel	ϵ'_0	ϵ'_{45}	ϵ'_{90}	ϵ_0	ϵ_{45}	ϵ_9
OL 37	0,00025	0,0001	0,0001	-0,00035	-0,00012	-0,000
St 37-3	0,001	0,0013	0,00075	-0,00135	-0,0015	-0,000

4.2.5. Concluzii

Cercetarea efectuată a căutat să facă o investigație în ceea ce privește modul de evoluție a deformațiilor care rezultă ca urmare a procesului de sudare. Rezultatele obținute constituie un suport care justifică continuarea cercetărilor, având în vedere un diferit ca evoluție a deformațiilor la suprafața plăcelor sudate și în interiorul acestora.

4.3. Considerațiuni asupra deformațiilor și tensiunilor din probe sudate cap la cap executate din oțel OL 37

4.3.1. Pregătirea probelor

Au fost pregătite în vederea sudării două plăci notate cu X și Y din tablă de oțel la dimensiunile 500 x 300 x 15 mm. Cele două plăci care au fost pregătite probele au fost de calitate OL 37, STAS 30 [243]. Cele două plăci au avut marginile pregătite la 60° pentru sudare cap la cap în V. Pe suprafața opusă rîdicinii cusăturii plăcilor X și Y au fost plantate bile din oțel cu diametrul 1/16", în vederea delimitării segmentelor, care să permită determinarea deformațiilor, cu ajutorul extensometrului mecanic ICC, 11.

Pe placa X au fost delimitate segmente a 20 mm, iar pe placa Y segmente a 40 mm. Modul de aşezare a bilor este indicat în figura 4.3.1.1.

Din această figură rezultă că segmentele au permis determinarea deformațiilor după două direcții față de axa cusăturii.

Sudarea s-a făcut prin depunerea a trei straturi, fiecare cutându-se după o răcire a celui anterior.

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
61	.62	.63	.65	.67	.69	.71	.73	.75	.77	.79	
	.64	.66	.68	.70	.72	.74	.76	.78	.80		
41	.42	.43	.45	.47	.49	.51	.53	.55	.57	.59	
	.44	.46	.48	.50	.52	.54	.56	.58	.60		
21	.22	.23	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.37	.39	
	.24	.26	.28	.30	.32	.34	.36	.38	.40		
1	.12	.13	.15	.17	.19	.21	.23	.25	.27	.29	
	.14	.16	.18	.20	.22	.24	.26	.28	.30		
0	.02	.03	.05	.07	.09	.11	.13	.15	.17	.19	
	.04	.06	.08	.10	.12	.14	.16	.18	.20		
	PLACA X										
	RACUSIIVII										
	W	J	K	L	Z	m	V	U	T	S	R
	18	.16	.14	.12	.10	.08	.06	.04	.02	.02	.02
17	.17	.15	.13	.11	.09	.07	.05	.03	.01	.01	.01
36	.36	.34	.32	.30	.28	.26	.24	.22	.20	.20	.20
35	.35	.33	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.19	.19
51	.51	.52	.50	.48	.46	.44	.42	.40	.38	.38	.38
53	.53	.51	.49	.47	.45	.43	.41	.39	.37	.37	.37
	PLACA Y										
	W	Z	V	U	T	S	R	R'	R'	R'	P

Fig. 4.3.1.1.
 Probă sudată cu poziția rozetelor

Stratul I s-a executat cu electrod EL 44 titanic, STAS 240 - 69, cu diametrul de 3,25 mm, polaritate directă, utilizându-se un curent de 100-150 A.

Stratul II a fost executat după 200 secunde, obținându-se șine cu culcașii pe baza lor, pe lungimea și lățimea din tabelul 4.3.1.1.

Stratul III-lea a fost executat cu electrod basic Superbaz, diametrul de 4 mm, polaritate inversă, utilizându-se un curent

Tabelul 4.3.1.1.

Caracterizarea stratului I

Durata de depunere (s)	Lungimea depunerii (mm)	Lăţimea zonei cu culoare de revenire (mm)	Viteza de sudare (cm/s)
30	118	26	0,393
68	134	45	0,200
40	106	26	0,265
15	24	24	0,016
10	28	23	0,028
14	35	31	0,018
32	55	35	0,017
209	-	-	

de 180 A. Stratul a fost depus în 337 secunde cu o viteză de sudare medie 0,148 cm/s, după care s-au obţinut o zonă cu culoare de revenire pe cea 2/3 din lungime cu lăţimea medie de 41 mm, iar pe 1/3 cu lăţime de 53 mm.

Stratul al III-lea a fost depus cu electrod bazic Superbaz, cu diametrul de 5 mm, polaritate inversă, folosindu-se un curent de 210 A. Durata depunerii acestui strat a fost de 225 sec., care corespunde unei viteze de sudare de 0,222 cm/s. Cusătura sudată nu a fost completată la rădăcină pentru a nu fi deteriorate bilele fixate.

După depunerea ultimului strat de sudură zona cu culoare de revenire s-a prezentat, pe lungimile și lăţimile din tabelul 4.3.1.2.

Tabelul 4.3.1.2.

Lăţimea finală a zonei de revenire

Lungimea depunerii (mm)	Lăţimea zonei de revenire (mm)
65	30 - 40
110	40
125	40 - 45
130	45 - 55
70	55

În secţiunea transversală cele două probe au prezentat o deformare unghiulară de 7°.

4.3.2. Măsurarea deformațiilor

Măsurarea deformațiilor s-a făcut cu extensometrul mecanic [100, 163]. Măsurările au fost executate după depunerea fiecărui strat și în următoarele situații create :

- cazul I - valorile deformațiilor obținute după depunerea primului strat de sudură;
- cazul II- valorile deformațiilor obținute după depunerea celui de al doilea strat de sudură ;
- cazul III-valorile deformațiilor obținute după depunerea celui de al treilea strat ;
- cazul IV -valorile deformațiilor obținute după 72 de ore de la sudare ;
- cazul V - valorile deformațiilor obținute după executarea a 6 găuri cu diametrul de 6 mm în cusătura sudată (fig.4.3.1.1 și 4.3.2.1).
- cazul VI- valorile deformațiilor după executarea găurilor în zona influențată termic(fig.4.3.1.1 și 4.3.2.2)
- cazul VII-valorile deformațiilor după decuparea prin găurire a unei părți din proba sudată având dimensiunile 135 x 190 mm din plan X și de 175 x 190 mm din plan Y(fig.4.3.1.1. și 4.3.2.3).

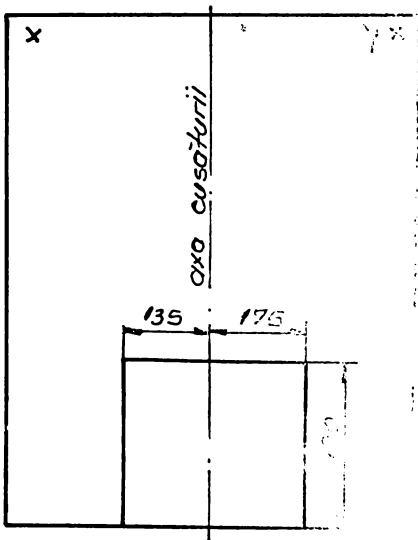


Fig.4.3.2.3.
timpul executării cusăturii sudate, după depunerea fiecărui strat.

În diagramele din fig.4.3.3.1 și 4.3.3.2 se prezintă pentru fiecare segment dinamica deformațiilor după depunerea fiecărui strat.

Pentru eliberarea tensiunilor din proba sudată au fost executate găuri în cusătura sudată(fig.4.3.2.1), în zona influențată termic(fig. 4.3.2.2) și în final a fost decupată printr-o găurire o placă sudată din probă, pentru cercetări ulterioare, conform fig.4.3.2.3.

4.3.3. Interpretarea variației deformațiilor rezultate în timpul operațiilor de sudare

O problemă importantă este aceea de a se urmări deformațiile care se produc în

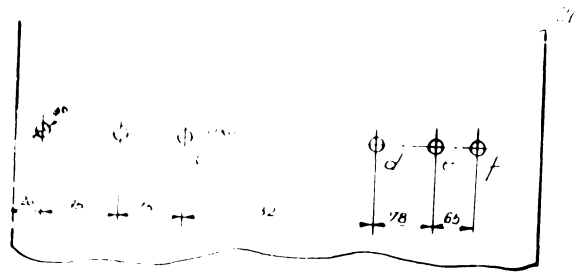


Fig. 2.2.1 Pozitia gurilor in cutarea de sudura

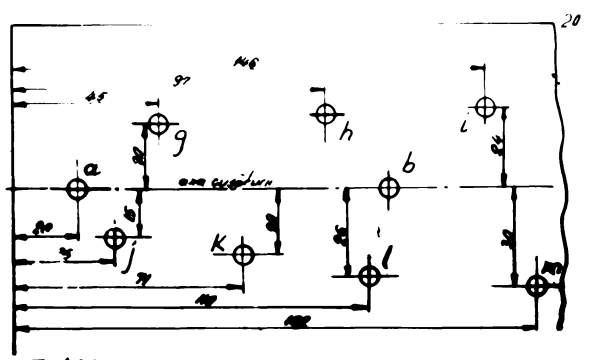


Fig. 2.2.2 Pozitia gurilor executate in masa de beton in timpul formarii a sudurii

respectiv după executarea cusăturii sudate și după 72 de ore de la sudare. Deformațiile sînt prezentate pentru fiecare placă, rînd și segment, valorile fiind exprimate în micrometri și cu sensul respectiv.

Analizînd deformațiile se constată că, după depunerea primului și celui de al doilea strat al deformațiilor segmentelor orizontale sînt mari pînă la o distanță de 90 mm de la axa cusăturii sudate, acestea reducîndu-se la o distanță de cca 190 mm de la aceasta. După depunerea ultimului strat de sudură deformațiile se reduc substanțial, în general valorile maxime se constată la capetele plăcilor la distanța de 30, respectiv 60 mm de la axa cusăturii.

De remarcat că după 72 ore de la sudare, deformațiile se accentuează în special pentru primul rînd.

Dinamica deformațiilor în plan perpendicular la cusătura sudată arată că se obțin valori maxime la 160 mm de la capătul plăcii.

De asemenea în general deformațiile pe direcțiile perpendiculare la cusătura sudată prezintă valori mai mari, în comparație cu cele realizate în plane paralele la cusătură. Comparînd cu deformațiile obținute în placa X, se constată o comportare opusă în placa Y, ceea ce atestă că plăcile sudate s-au deformat ca o elice.

În planele orizontale la cusătură se constată că în ultimul rînd ($C_1 - C_1'$) se obțin valori mari ale deformațiilor, la o distanță de 145 mm de la axa cusăturii.

În planele verticale la cusătură se obțin valori maxime în planele Z - Z' și W - W', în celelalte planuri deformațiile fiind mai mici.

Din analiza efectuată pe probă în timpul executării cusăturii rezultă următoarele :

- zona metalului de bază care este colorată cu aspect de revenire, prezintă lățimea sensibil egală după depunerea fiecărui strat, ceea ce indică că sudarea a fost corect executată ;
- valoarea deformațiilor obținute este mare în zonele cercetate, însă modul de repartizare al acestora este diferit și aceasta din cauza ciclului termic realizat la încălzire și la răciră metalului, după fiecare strat ;
- mărimea deformațiilor diferă de la cîțiva micrometri pînă la zece de milimetri, ceea ce corespunde unor deformații specifice maxime de cca 0,4 % în ambele plăci sudate ;
- se constată segmente care prezintă aceeași alătură a curbei deformațiilor, pe fișii ale probei ca exemplu la placa X, ca-

zului segmentelor 8 și 48, 10 și 30 pe direcția orizontală, iar la placa Y cazul segmentelor 21 și 22, 49 și 50 pe aceeași direcție ;
 - deformații care depășesc valoarea de 0,2 % corespunzătoare limitei de curgere a metalului de bază se obțin după depunerea stratului al doilea, ca ex. - $63 \mu\text{m}$ la segmentul 29 pe rîndul II vertical la placa X și $168 \mu\text{m}$ la segmentul 41 pe rîndul III vertical și de - $109 \mu\text{m}$ la segmentul 42 pe același rînd însă orizontal.

După depunerea primului strat de sudură se constată aceiași situație la segmentul 6 rîndul I orizontal la placa X și la segmentul 45 pe rîndul III vertical.

4.3.4. Analiza deformațiilor după executarea operațiilor tehnologice pentru eliberarea tensiunilor

După executarea operațiilor tehnologice din cusătura sudată din Z.I.T. așa cum s-a arătat în figurile 4.3.2.1 - 4.3.2.5 rezultă modificări ale deformațiilor.

În fig.4.3.4.1. se prezintă deformațiile în plane paralele la cusătura din placa X.

Se constată că după executarea găurilor în cusătura sudată (curba V) se produc deformații mari în planul A - A' aflat la 30 mm de la cusătură și cu schimbare de sens în comparație cu situația din fig.4.3.3.1.

Se constată de ex. că la segmentul 4 se obțin deformații de 0,6 %, iar la segmentul 8 de 0,7 %. De asemenea se constată o contracție pronunțată la segmentul 48 în valoare de -0,6 %.

După executarea găurilor din Z.I.T. (curba VI) se constată că acestea au efect în cazul segmentului 8 din planul A - A', ca și la segmentul 38 din planul B - B'.

După decuparea plăcii (curba VII) se observă efecte mai însemnate la segmentul 8, cu aceeași valoare a deformației ca în cazul precedent, la segmentul 28 din planul B - B' o contracție de - 0,25 %, iar la segmentul 52 din planul C - C' o deformație de + 0,27 %.

Figura 4.3.4.2 prezintă cazul segmentelor perpendiculare din placa X. Se constată deformații mari la segmentul 7 din planul H-H' în toate cazurile curbele V - VII, au valoarea de peste 0,4 %.

În planul I - I' se manifestă o contracție accentuată la curba V cu valoare de - 0,4 %. La segmentul 35 din planul L - L' se observă prin curbele V și VI o contracție de - 0,3 %.

În planul N - N' se constată de asemenea contracții mari de pînă la - 0,5 % la segmentele 19 și 59.

După decuparea plăcii (curba VII) se constată contracții mai

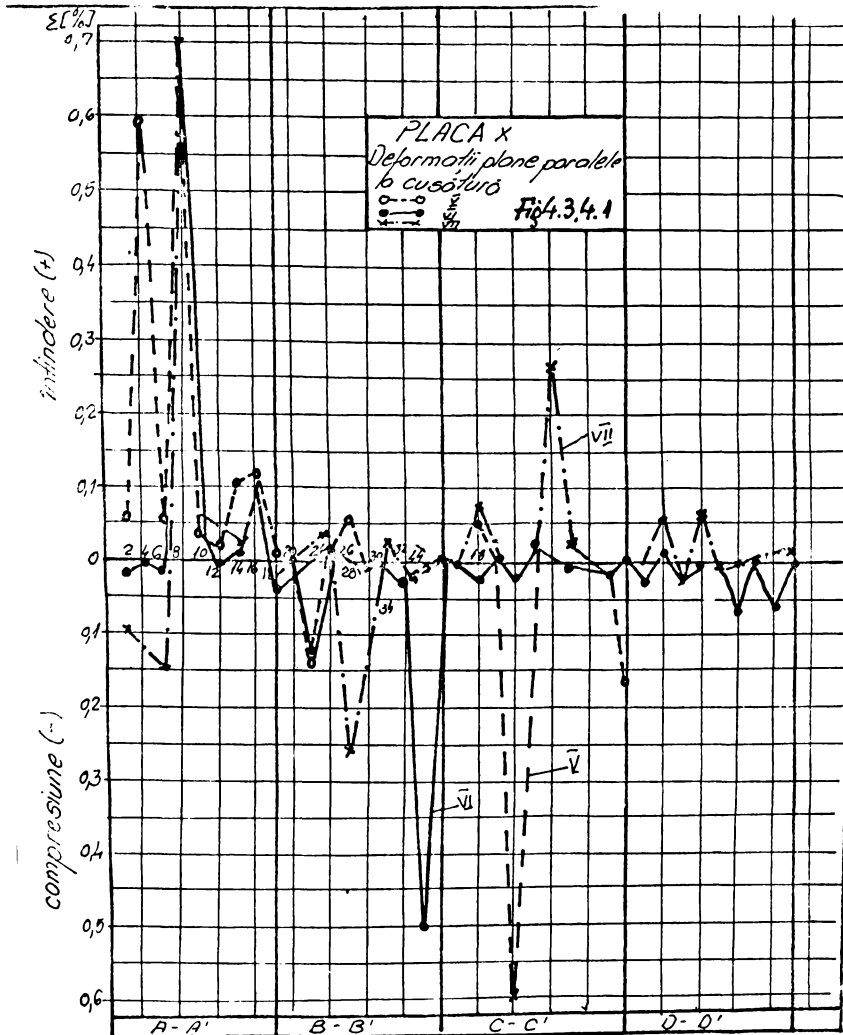


Fig. 4.3.4.1.
Deformațiile din placa X în plane paralele
la cusătură

pronunțate la segmentele 27 și 47 din planul H - H' în valoare de - 0,23 %, respectiv - 0,35 %. La segmentul 15 din planul L - L' se constată o deformație de 0,25 %.

În figura 4.3.4.3 se poate observa dinamica segmentului din placa Y în plane paralele la cusătură.

Se constată în general valori mici ale deformațiilor cu excepția segmentului 36 din planul $B_1 - B_1'$ după decuparea plăcii (curba

VII) se constată o contracție de - 0,2 %. De asemenea se constată că majoritatea segmentelor prezintă deformații apropiate în toate cazurile.

Figura 4.3.4.4. se referă la segmentele din placa Y perpendiculară pe cusătură. Se constată o contracție de - 0,25 % la segmentul 51 din planul Z - Z' (curba VI), în rest aceleași observații ca în cazul precedent.

4.3.5. Analiza deformațiilor din placa decupată

Placa decupată din proba sudată conform fig. 4.3.2.3. a fost analizată în ceea ce privește dinamica deformațiilor.

În figurile 4.3.5.1 și 4.3.5.2 se prezintă deformația specifică la proba prelevată din proba (X + Y) sudată. Analiza deformațiilor specifice se face în cazurile I - IV după cum urmează :

- I - după sudare,
- II - după găurirea din cusătură ,
- III - după găurirea din Z.I.T.,
- IV - după decuparea probei mici din cea mare.

Analiza se face pentru fiecare rozetă în comparație cu situația după sudare (curba a) și față de cea inițială (curba b). Astfel se poate pune în evidență efectul operațiilor de găurire și decupare executate.

La rozeta (7,8) se constată deformații specifice mari ajungând până la 0,4 % la segmentul 7 și de max 1,0 % la segmentul 8.

La segmentul 48 se constată deformații specifice de maxim - 0,6 %.

Analizând curbele a și b obținute la fiecare segment după operațiile executate succesiv se deduc următoarele:

- suprapunerea celor două curbe la rozetele 2,3 parțial 23, 28, 43, 42, 44, 45, 47 și 48 ;
- alinarea curbelor este asemănătoare în celelalte cazuri.

Din graficele prezentate se poate evidenția efectul fiecărei operații, comparativ cu situația după sudare, respectiv față de situația inițială.

4.3.6. Analiza deformațiilor specifice după sudare și executarea găurilor, respectiv a decupării

Analiza s-a făcut pe fișii paralele și perpendiculare, în stările rezultate după operațiile de găurire în cusătură, în zona influențată termic și după decupare prin găurire a unei părți din probă. A fost urmărită dinamica deformațiilor specifice în cazurile prezentate.

E-E' | F-F' | G-G' | H-H' | I-I' | J-J' | K-K' | L-L' | M-M'

1 21 41 | 3 23 43 | 5 25 45 | 7 27 47 | 9 29 49 | 11 31 51 | 13 33 53 | 15 35 55 | 17 37 57

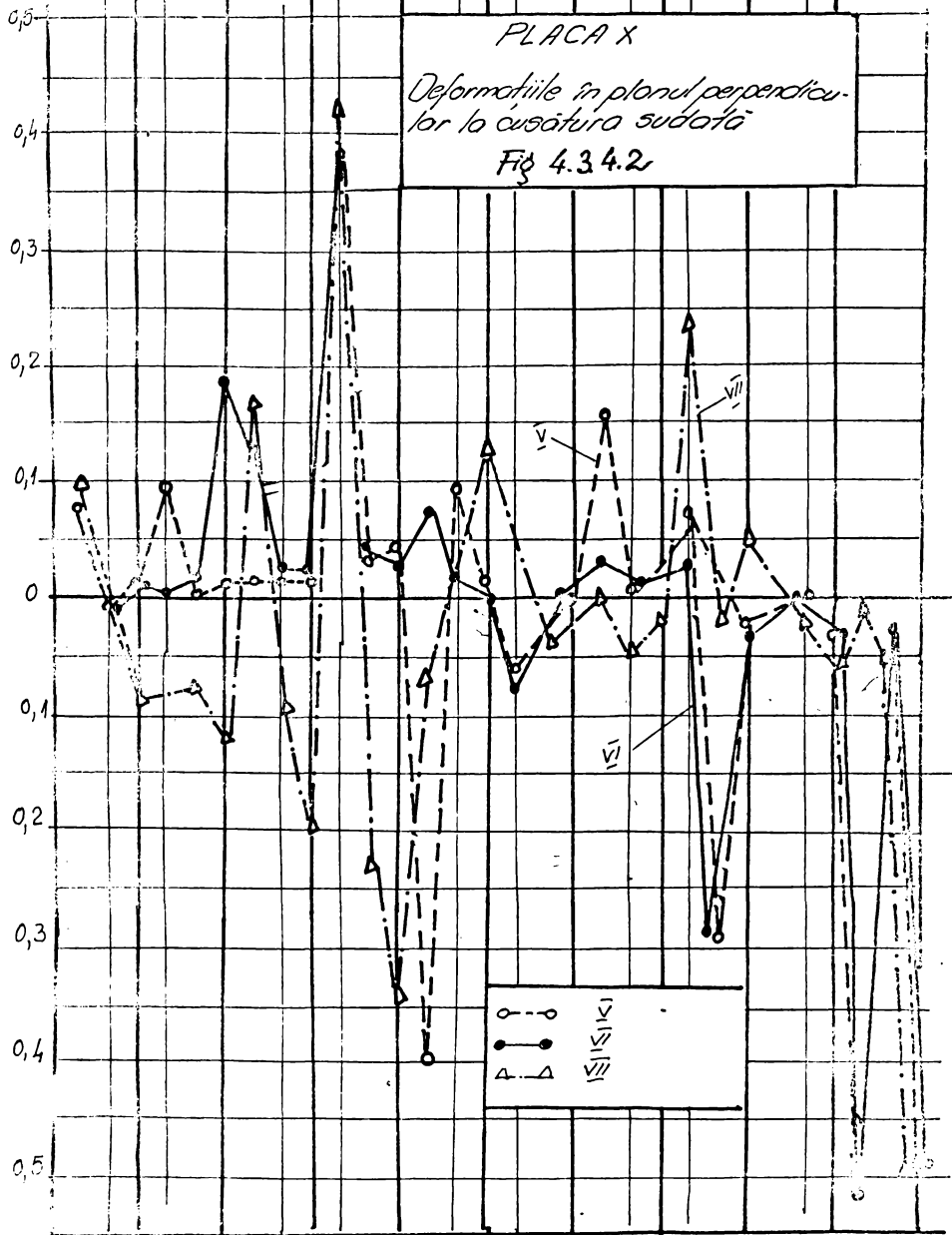
intindere

compresie

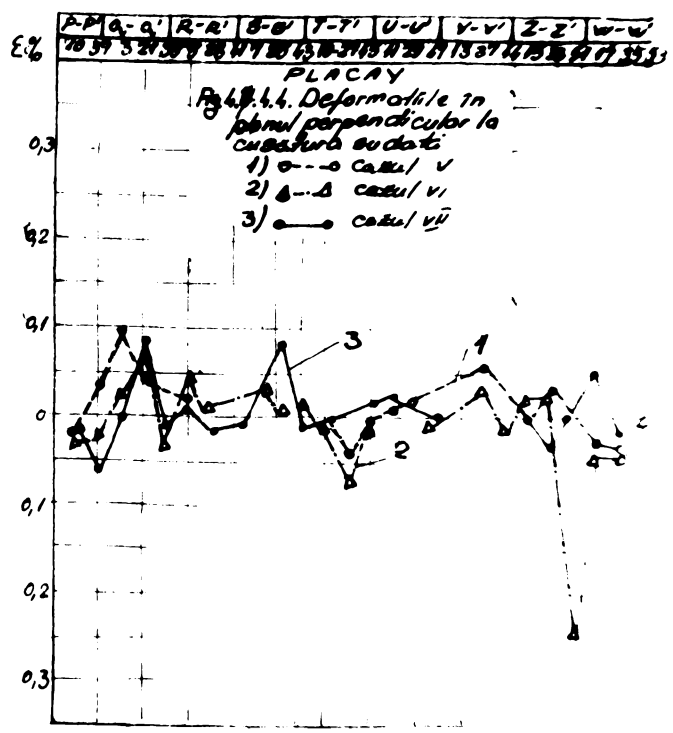
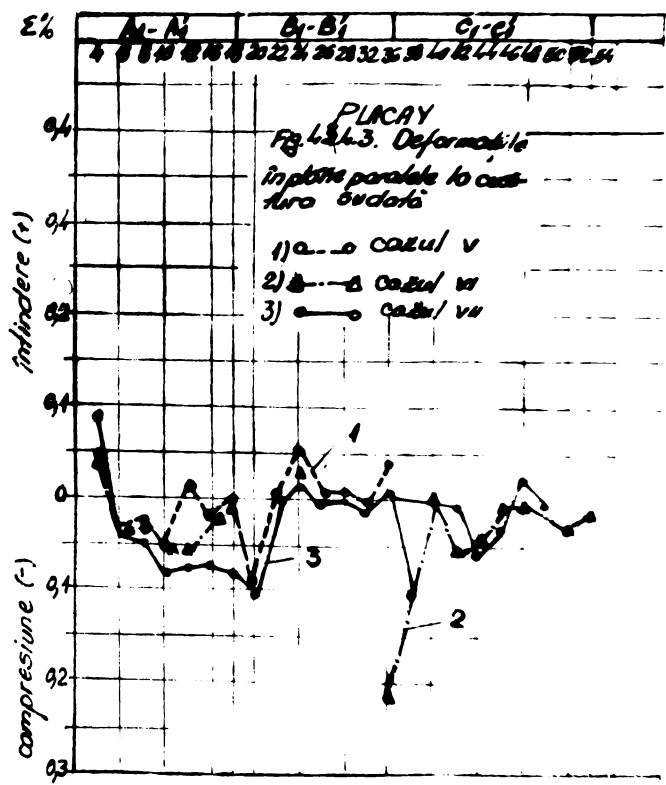
PLACA X

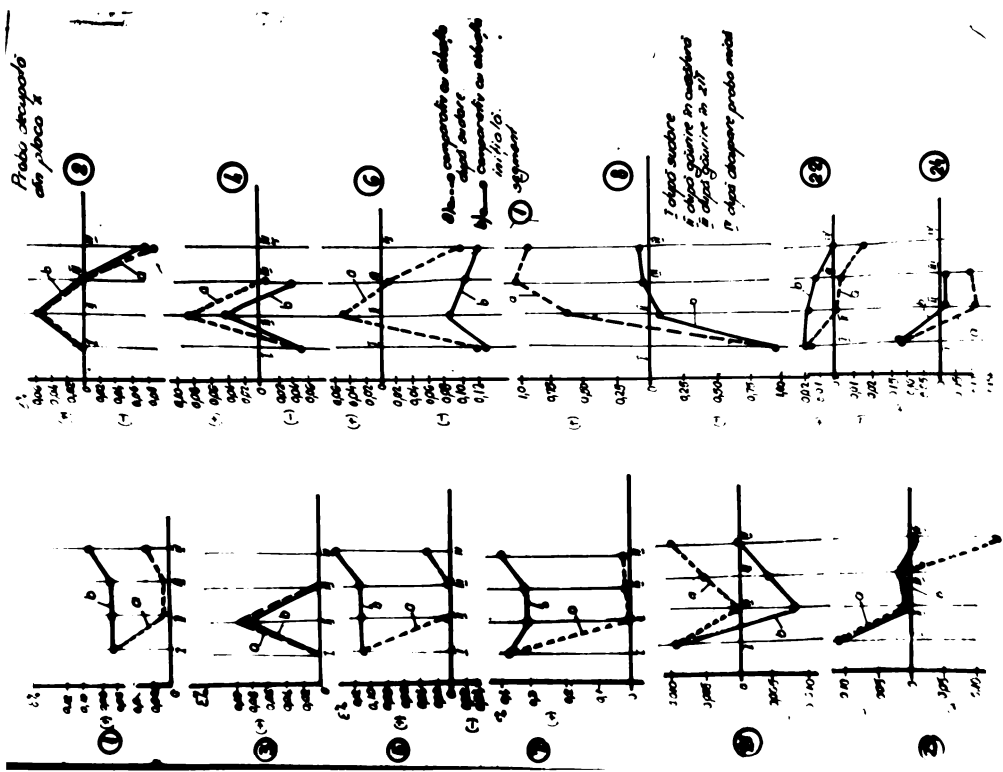
Deformatiile in planul perpendicular la cisatura subota

Fig 4.3.4.2



○-○	V
●-●	VI
△-△	VII





Proba de curvare
din placa x

1) - curvatura cu abscisa
2) - abscisa
3) - curvatura cu abscisa
4) - abscisa

1) abscisa
2) curvatura
3) abscisa

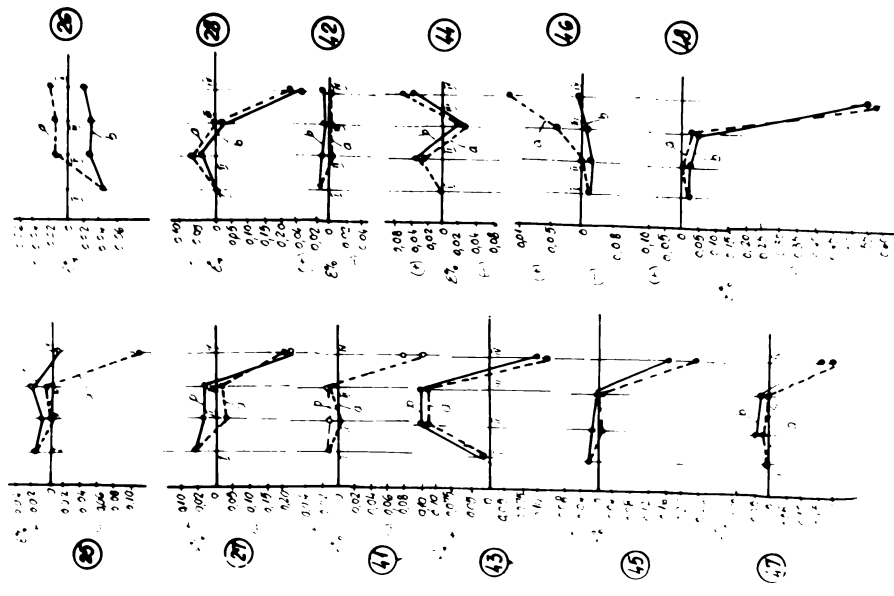


Fig. 2.5.1. Varietate de deformatii si segmentelor din
proba de curvare (parte din placa x)

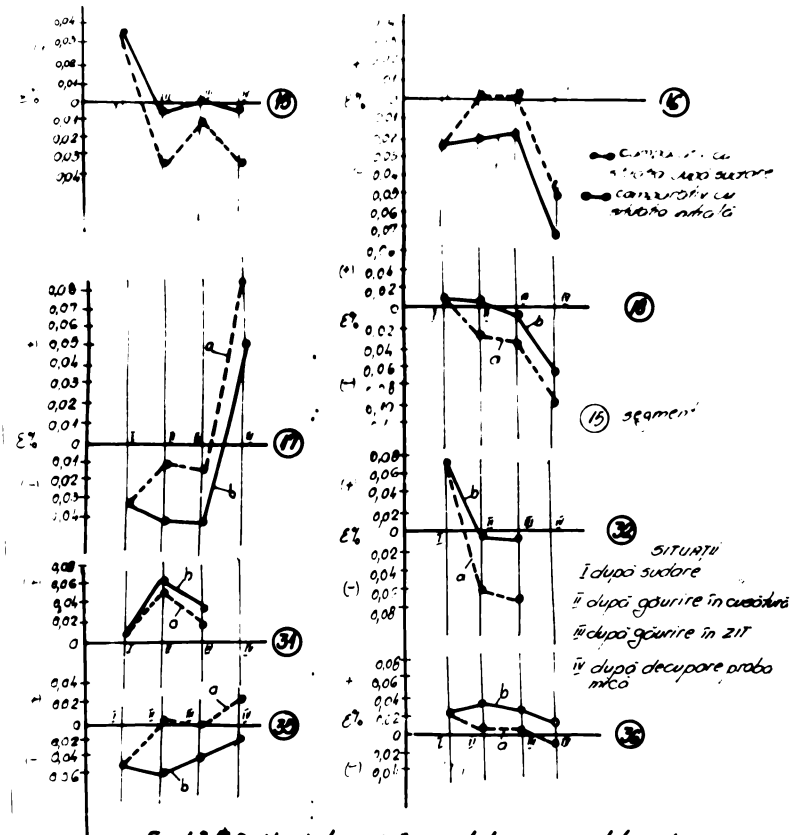


Fig. 4.3.2. Variația deformațiilor segmentelor din proba decupată (partea din placa Y)

Analiza s-a făcut avînd în vedere cazurile prezentate la punctul 4.3.2.

a) Situația din plăcile X și Y în plane paralele la cusătura sudată

După executarea celor șase găuri din cusătura sudată se produce în general o mărire a deformațiilor în comparație cu cazul precedent, lucru ilustrat în mod deosebit în planul A - A' din placa X, unde se obține o creștere maximă de 1,3504 % în dreptul segmentului 8. În placa Y în planul corespunzător A₁ - A₁' acest lucru se manifestă în mai mică măsură.

Creșterea valorii deformațiilor indică prezența unor stări de tensiuni apreciabile în zona cea mai apropiată cusăturii sudate.

Comportarea diferită a segmentelor de măsură aflate în planele A - A' și A₁ - A₁', distanțate egal față de axa cusăturii sudate, poate fi explicată prin încălzirea neuniformă a marginilor celor două plăci în timpul sudării, ceea ce a condus la realizarea de viteze diferite ale variației de căldură în zonele examinate, la cca. 30 mm față de cusătura sudată [161, 243].

În planurile aflate la distanțe mai mari față de cusătura sudată se manifestă diferențe mai mici ca valori absolute. În aceste cazuri alungirile și scurtările respective prezintă modulări, dovedite prin schimbări de sens mai frecvente, ca și prin neschimbări ale situației precedente.

După executarea găurilor g - 1 din placa X și j - 1 în placa Y se constată în general variații mai mici ale deformațiilor, chiar în imediata apropiere a cusăturii (- 0,604 % la segmentul 4), caracterul acestora fiind ondulatoriu, prezentînd multe schimbări de sens și situația neschimbată față de cea precedentă.

Faptul că executarea acestor găuri nu provoacă alungiri și contracții apreciabile chiar în zona din imediata apropiere a cusăturii (segmentele 2-8 din placa X și 16 - 18 din placa Y) se poate explica și prin faptul că prin efectuarea găurilor precedente din cusătura sudată au fost deja „eliberate” tensiuni importante.

Dacă efectuarea decupării părții din probă situația este caracterizată prin creșterea și micșorarea deformațiilor specifice din partea decupată și din restul probei sudate. În planele mai îndepărtate se manifestă mărimi ale deformațiilor cu schimbări de sens (mișcări ondulatorii).

În restul plăcii se constată creșteri ale deformației prin alungiri, în special în placa X (la segmentul 52 se constată valoarea

rea maximă de 0,2745 %).

b) Situația din plăcile X și Y în planele perpendiculare la cusătura sudată

Pentru segmentele planelor care corespund E-E' cu W-W' și N-N' cu P-P', se constată că după executarea găurilor în cusătura sudată, deformațiile segmentelor respective se compensează (1 și 17, 19 X și 19 Y). În general se constată că alungirile și contractiile segmentelor se prezintă într-o proporție sensibil egală pentru placa X și Y. De asemenea se manifestă în multe cazuri și compensare în ceea ce privesc alungirile și contractiile segmentelor aflate în același plan. Cea mai pronunțată contracție în placa X se constată la segmentele 7 (-0,3601 %) și 35 (-0,3073 %), iar creșterea alungirii se manifestă la segmentul 19 (+0,5117 %). În placa Y se găsește cea mai pronunțată contracție la segmentul 19 (-0,1704 %) iar cea mai mare creștere a alungirii la segmentul 13 (+0,1252 %).

După efectuarea găurilor g-1 și j-1 se constată că unele segmente nu prezintă nici o modificare în plus față de situația precedentă (segmentele 1, 43, 51, 33, 53, 59 din placa X și 7 din placa Y).

În placa X se menționează că în partea rămasă după decupare se manifestă o contracție pronunțată și la segmentul 61 (-0,5085 %) din cauza poziției la margine.

În aceeași placă se mai manifestă o creștere a alungirii în planul L-L' pentru segmentele 15 (+0,2139 %) și 35 (0,2728 %).

În rest, atât în placa X cât și în placa Y nu se constată modificări importante.

În cazul operațiilor tehnologice care conduc la modificarea deformațiilor existente anterior efectuării acestora, se va înțelege că mărirea deformațiilor se explică prin eliberarea unor tensiuni remanente de compresiune. De asemenea micșorarea deformațiilor după aceste operații înseamnă eliberarea unor tensiuni remanente de întindere. După variația valorilor deformațiilor care se produc după efectuarea acestor operații tehnologice (găuriri, decupări) se poate aprecia efortul acestora în ceea ce privește mărirea și sensul tensiunilor remanente eliberate.

4.3.7. Determinarea tensiunilor remanente

Pe baza măsurătorilor efectuate prin extensometria mecanică s-au determinat deformațiile specifice pentru fiecare placă a probei sudate și după efectuarea operațiilor de găurire și debitare menționate, tensiunile fiind determinate prin relațiile cunoscute

[39,100]

Înlocuind în relațiile cunoscute valorile corespunzătoare di-

feritelor stări de tensiuni rezultă mărimea, sensul și orientarea acestora. Direcțiile principale s-au considerat a fi cunoscute, respectiv cele paralele și perpendiculare la cusătura de sudură.

În tabelul 4.3.7.1. se prezintă tensiunile principale normale pentru fiecare rozetă în trei situații distincte ale probei sudate [100].

Tabelul 4.3.7.1.

Tensiunile principale din placa X
în daN/mm^2

Rin - Rozetă	După sudare			După găurirea în cusătură		În placa decupată	
0	1	2	3	4	5	6	7
A-A ₁	2,1	6,4185	16,4258	14,0831	5,6519		
	4,3	-11,2036	-2,6456	plastic	plastic		
	6,5	-22,2691	19,1864	11,8553	1,8827		
	8,7	plastic	plastic	plastic	plastic		
	10,9	plastic	plastic	plastic	plastic		
	12,11	-4,5320	-16,794	5,3296	3,7882		
	14,13	-15,2755	3,1517	plastic	plastic		
	16,15	-29,6999	-3,6808	plastic	plastic		
	20,19	plastic	plastic	3,4087	4,1794		
	22,21	3,8189	-0,7822	0	0	-2,6495	-3,0288
B-B ₁	24,23	plastic	plastic	plastic	plastic		
	26,25	8,8110	1,1963	3,4278	1,1312	-3,7464	-20,6088
	28,27	2,2315	12,9520	21,0381	1,8791	plastic	plastic
	30,29	1,4953	4,5780	4,5514	16,8359		
	34,33	1,9094	6,5334	-0,3835	-4,2061		
	36,35	2,6456	1,8634	plastic	plastic		
	38,37	plastic	plastic	-0,7668	3,8265		
	40,39	19,7615	-1,6794	2,6495	1,8788		
	42,41	4,5550	4,5550	0	0	-4,8928	-24,0626
	44,43	7,4997	22,7752	plastic	plastic	11,5751	-23,7527
C-C ₁	46,45	1,4953	10,7435	-2,2396	-6,7865	-14,003	plastic
	48,47	0,0230	3,0597	2,2623	6,8555		
	50,49	5,3602	2,3235	6,4836	1,1351		
	52,51	1,1043	9,5472	-2,2586	-9,3863		
	54,53	0,3911	1,9094	2,2775	0,7516		
	56,55	1,4953	-4,5780	-3,7180	-11,2726		
	58,57	plastic	plastic	plastic	plastic		
	60,59	plastic	plastic	plastic	plastic		

În tabelele respective nu figurează valorile tensiunilor care depășesc limita de curgere, considerând că legea lui Hooke este valabilă numai pentru starea de tensiuni elastice. S-a constatat că dacă suma $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 > 0,1\%$, eforturile depășesc limita de curgere pentru OL 37. În aceste cazuri s-a trecut termenul „plastic”.

Dacă deformațiile, respectiv tensiunile rezultate sînt permanente, însă în domeniul pînă la limita de curgere a materialului utilizat în structura sudată, va fi considerat ca un caz elastic - plastic și se va aplica legea lui Hooke. În această situație se află

majoritatea rozetelor analizate.

Cînd deformațiile, respectiv tensiunile devin nule după „eliberarea” tensiunilor remanente se consideră cazul elastic, după cum se poate observa la rozetele (22,21) și (42,41) după operația de găurire din axul cusăturii sudate.

O altă remarcă constă în faptul că valori mari se obțin și în zonele marginale ale probei sudate. Faptul că acestea sînt grupate și apropiate ca valori dovedesc corectitudinea metodei.

Pe baza deformațiilor obținute au fost determinate tensiunile remanente din placa Y în cazurile analizate, valorile tensiunilor remanente fiind prezentate în tabelul 4.3.7.2.

Tabelul 4.3.7.2.

Tensiunile remanente din placa Y
(daN/mm²)

Rin- dul	Roze- ta	După găurire în cusătură		După găurire în Z.I.T.		După găurire ptr. decupare	
A ₁ -A ₂	4,3	-21,6171	-32,7998	-21,4927	-6,1137	-23,0225	-12,2101
	6,5	-8,6787	0,1208	-10,7740	-6,2287	-5,8146	1,8404
	8,7	-5,7210	3,1114	-7,1547	3,3012	-2,5594	5,3552
	16,15	-0,2588	14,8097	-2,3466	-4,2618	12,3792	18,8777
B ₁ -B ₂	22,21	14,7234	13,5788	13,4006	15,7241	5,6938	9,5472
	24,23	0,4140	-4,9979	5,5845	-1,7541	-	-
	26,25	-0,0173	4,6126	1,7139	3,64464	-	-
	28,27	9,1752	12,2618	12,0354	19,3761	-	-
	32,31	29,4876	1,9639	34,6460	9,8805	-	-
C ₁ -C ₂	38,37	plastic	plastic	19,6465	3,4103	21,5944	3,0192
	40,39	plastic	plastic	0,9778	-0,1898	-1,8864	-4,2100
	42,41	plastic	plastic	-2,3331	5,4235	-13,8606	1,8174
	44,43	plastic	plastic	-12,2733	-9,1733	7,4940	-4,0086
	48,47	plastic	plastic	-0,9317	-4,4112	-6,3336	-6,8095
	54,53	plastic	plastic	4,3480	6,0274	-	-

Se constată că și în cazul plăcii Y sînt valabile cele constatate la placa X. Inșă maximele constante la placa X sînt în zone inverse amplasate în placa Y ca poziție față de cusătura sudată. În placa Y se prezintă variația tensiunilor remanente în trei cazuri succesive pentru eliberarea tensiunilor. În tabelul 4.3.7.3 se prezintă analitic influența fiecărei operații una față de alta în ceea ce privește „eliberarea tensiunilor”, comparativ cu starea creată după sudare.

Tabelul 4.3.7.3.

Influența operațiilor de detensionare una față de alta în ceea ce privește tensiunile remanente (daN/mm^2)

Rozeta	Găurirea în Z.I.T. față de găurirea din cursătură		Găurirea pentru decupare față de găurirea în Z.I.T.	
4,3	0,1244	26,6861	- 1,5298	- 6,0964
6,5	- 2,0933	- 0,3495	4,9594	4,3883
8,7	- 1,4337	0,1898	4,5953	2,0540
16,15	- 2,0878	-19,0715	14,7258	23,1395
22,21	- 1,3228	2,1453	- 7,7068	- 6,1769
24,23	5,1705	3,2438	-	-
26,25	1,7312	- 0,9662	-	-
28,27	- 2,8602	7,1143	-	-
32,31	5,1584	7,8966	-	-
38,37	-	-	1,9479	- 0,3911
40,39	-	-	-2,8642	- 4,0202
42,41	-	-	11,5275	- 0,3911
44,43	-	-	4,7793	5,1647
48,47	-	-	-5,3939	- 2,3983

Se constată că operațiile care conduc la detensionarea probei sudate influențează în ceea ce privește modificarea tensiunilor remanente. Cele mai substanțiale modificări ale tensiunilor remanente se produc la rozetele (4,3) și (16,15).

4.4. Măsurarea deformațiilor și a tensiunilor remanente din probele sudate cap la cap din oțel slab aliat cu mangan

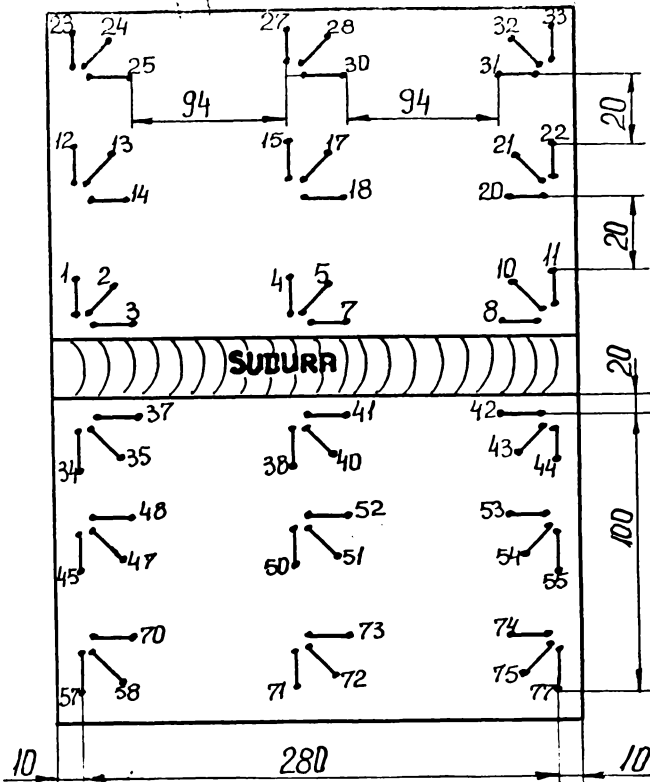
Cercetarea nivelului deformațiilor rezultate ca urmare a procesului de sudare prin topire cu arc electric a tablilor din oțel marca OL 52-3k STAS 500-80, utilizând extensometria mecanică [19].

Astfel din probele sudate din tablă de oțel marca OL 52-3k prezentate în cap.2.6.2 au fost analizate sub aspectul variației deformațiilor rezultate după procesul de sudare la probele 3 și 4.

Tehnologia de sudare fiind aceeași, iar regimul de sudare prezentat în tabelul 2.3.3 al capitolului 2.3 a fost asemănător pentru ambele probe, s-a urmărit în primul rând influența procesului de preîncălzire aplicat la proba 4.

Amplasarea rozetelor pe ambele probe s-a făcut identic conform figurii 4.4.1.

Folosind extensometria mecanică măsurătorile s-au efectuat și în cazul utilizării rozetelor alcătuite din trei direcții de măsurare decalate la 45° una față de alta, după cum se indică în fig. 4.4.1. În acest caz se consideră că nu sînt cunoscute direcțiile tensiunilor principale, care urmează a fi determinate.



DETALIUL ROZETA

Fig.4.4.1.

Amplasarea rozetelor pe probele sudate
Baza de măsură a segmentului a fost 20 mm.

Una din direcții este paralelă la axa cusăturii sudate, alta este perpendiculară pe acesta. În aceeași figură se arată și direcția principală decalată față de direcția cusăturii sudate, cu unghiul .

Măsurările au fost efectuate în următoarele faze :

- înainte de sudare ;
- după sudare ;
- după decuparea zonelor prevăzute cu segmente prin fișii cu lățimea de 50 mm ;
- după executarea unor găuri cu diametrul de 5,6 mm la mijle-

ANEXA H1

Dinamica segmentelor care alcătuiesc rozetele
pe probele 3 și 4 din Cl. 52-2k, grosimea 21 mm

Nr. segment	Proba 3 fără preîncălzire				Proba 4 cu preîncălzire			
	Lungimile segmentelor							
	inițială	după sudare	după decupare	după găurire	inițială	după sudare	după decupare	după găurire
0	1	2	3	4	5	6	7	8
etalon	493	471	489	488	493	491	489	488
1	20,165	20,154	20,161	20,160	20,178	20,169	20,169	20,168
2	20,161	20,056	20,067	20,068	20,119	20,109	20,121	20,120
3	20,125	20,109	-	-	20,185	-	-	-
4	20,155	20,131	-	-	20,167	20,140	20,131	20,131
5	20,100	20,100	20,105	20,108	20,060	20,060	20,069	20,061
7	20,099	-	-	-	20,077	20,075	20,072	20,071
8	20,217	20,213	-	-	20,127	-	-	-
10	20,183	20,078	-	-	20,192	20,180	20,191	20,192
11	20,100	-	-	-	20,085	20,084	20,078	20,078
12	20,162	20,157	20,151	20,149	20,171	20,087	20,063	20,061
13	20,087	20,081	20,081	20,078	20,076	20,068	-	-
14	20,097	20,098	20,101	20,103	20,087	20,087	20,094	20,094
15	20,232	20,270	20,273	20,274	20,059	20,063	20,059	20,060
17	20,099	20,056	20,065	20,063	20,154	20,159	20,157	20,156
18	20,115	20,110	20,122	20,122	20,101	20,097	20,107	20,108
20	20,163	20,161	20,164	20,165	20,066	20,068	20,067	20,068
21	20,047	20,041	20,047	20,047	20,193	20,190	20,194	20,198
22	20,129	20,125	20,119	20,114	20,141	20,138	20,137	20,135
23	20,211	20,229	20,195	20,193	20,084	20,082	20,079	20,079
24	20,103	20,091	20,093	20,090	20,109	20,108	20,096	20,094
25	20,173	20,180	20,182	20,181	20,108	20,107	20,107	20,106
27	20,095	20,095	20,093	20,099	20,123	20,125	20,123	20,123
28	20,093	20,089	20,103	20,102	20,113	20,107	20,103	20,105
30	20,118	20,110	20,120	20,120	20,145	20,141	20,129	20,129
31	20,083	20,082	20,086	20,086	20,191	20,184	20,189	20,188
32	20,101	20,098	20,092	20,089	20,208	20,208	20,202	20,199
33	20,146	20,144	20,143	20,140	20,125	20,125	20,122	20,120

0	1	2	3	4	5	6	7	8
34	20,027	20,017	20,024	20,023	20,129	20,120	20,126	20,123
35	20,199	20,192	20,200	20,198	20,198	20,190	20,204	20,205
37	20,089	20,087	20,068	20,065	20,089	20,094	20,099	20,100
38	20,171	20,230	20,174	20,176	20,194	20,101	20,192	20,192
40	20,198	20,187	20,191	20,188	20,177	20,176	20,176	20,178
41	20,230	20,221	20,218	20,213	20,216	20,216	20,161	20,157
42	20,266	20,255	20,257	20,255	20,128	20,126	20,128	20,127
43	20,222	20,217	20,228	20,225	20,137	20,129	20,146	20,145
44	20,223	20,103	20,209	20,298	20,163	20,155	20,160	20,160
45	20,169	20,165	20,160	20,157	20,115	20,120	20,113	20,107
47	20,175	20,174	20,179	20,180	20,143	20,149	20,143	20,146
48	20,193	20,200	20,203	20,204	20,081	20,089	20,093	20,093
50	20,283	20,284	20,282	20,283	20,209	20,210	20,206	20,206
51	20,290	20,244	20,249	20,252	20,182	20,178	20,183	20,183
52	20,243	20,236	20,242	20,242	20,158	20,153	20,163	20,164
53	20,164	20,166	20,162	20,162	20,194	20,194	20,192	20,191
54	20,164	20,161	20,167	20,165	20,159	20,155	20,162	20,160
55	20,024	20,082	20,076	20,076	20,115	20,112	20,106	20,103
57	20,217	20,217	20,218	20,219	20,125	20,124	20,118	20,116
58	20,235	20,234	20,227	20,225	20,134	20,133	20,127	20,126
70	20,215	20,119	20,124	20,122	20,153	20,156	20,160	20,161
71	20,515	20,512	20,410	20,402	20,157	20,157	20,156	20,155
72	20,235	20,234	20,236	20,234	20,190	20,199	20,184	20,185
73	20,215	20,209	20,225	20,222	20,158	20,169	20,168	20,168
74	20,257	20,252	20,258	20,257	20,192	20,191	20,197	20,195
75	20,157	19,846	20,144	20,140	20,188	20,178	20,171	20,170
77	20,217	20,216	20,213	20,212	20,122	20,121	20,120	20,118

Notele din acest tabel constituie valori primare pentru tabelele 4.4.1 (ref. proba 3) și 4.4.2 (ref. proba 4.)

cul fiecărui segment.

Folosind rozeta cu trei direcții pentru măsurarea deformațiilor se pot determina direcția tensiunilor normale principale σ_I și σ_{II} , tensiunea efectivă maximă (τ_{max}) și unghiul φ dintre direcția orizontală la care s-a efectuat măsurarea deformațiilor notate cu ξ_x și direcția principală maximă [100]. S-a utilizat calculatorul folosind schema logică pe baza legii lui Hooke generalizată

În sfârșit pot fi determinate la nevoie și deformațiile specifice pe direcțiile principale I și II folosind relațiile cunoscute [39, loc 5].

În cele ce urmează vor fi exemplificate cu ajutorul măsurărilor efectuate cu unele din rozetele amplasate pe proba din fig.4.4.1. În tabelul 4.4.1 se vor prezenta câteva valori ale deformației segmentelor din unele rozete, ale căror mărimi au fost urmărite în stadiile diferite de tensiuni analizate și care aparțin probei 3, sudată fără preîncălzire. În tabelul 4.4.2 se arată același lucru pentru proba 4, care s-a sudat cu preîncălzire. Este interesant că în ambele cazuri cele mai mari deformații specifice se obțin în cazul segmentului 38, ca și în zona rozetei (50, 51, 52).

Tabelul 4.4.1.

Variația mărimii unor segmente ale probei 3
din fig.4.4.1.

Rozeta	Poziția	Valoarea %			efectul găurii
		după sudare	după decupare	după găurire	
12	90	- 0,0247	- 0,0297	- 0,0396	- 0,0099
13	45	- 0,0298	0	- 0,0149	- 0,0149
14	0	+ 0,0049	+ 0,0149	+ 0,0240	+ 0,0091
15	90	+ 0,1878	+ 0,0143	+ 0,0197	+ 0,0049
17	45	- 0,0149	+ 0,0443	+ 0,0349	- 0,0099
18	0	- 0,0248	+ 0,0596	+ 0,0596	0
38	90	- 0,2924	- 0,2768	- 0,2669	+ 0,0099
40	45	- 0,0544	+ 0,0198	+ 0,5049	- 0,0149
41	0	- 0,0444	- 0,0143	- 0,0395	- 0,0247
42	90	- 0,0542	+ 0,0098	0	- 0,0098
43	45	- 0,0247	+ 0,0544	+ 0,0593	+ 0,0049
44	0	- 0,5933	+ 0,5272	+ 0,5223	- 0,0049
50	90	+ 0,0049	- 0,0098	- 0,0049	+ 0,0049
51	45	+ 0,296	+ 0,0246	+ 0,0395	+ 0,0149
52	0	- 0,0345	+ 0,0296	+ 0,0296	0
74	0	+ 0,0049	+ 0,0296	+ 0,0246	- 0,0049
75	45	- 1,5428	+ 1,5015	+ 1,4814	- 0,0191
77	90	- 0,0049	- 0,0143	- 0,0197	- 0,0049

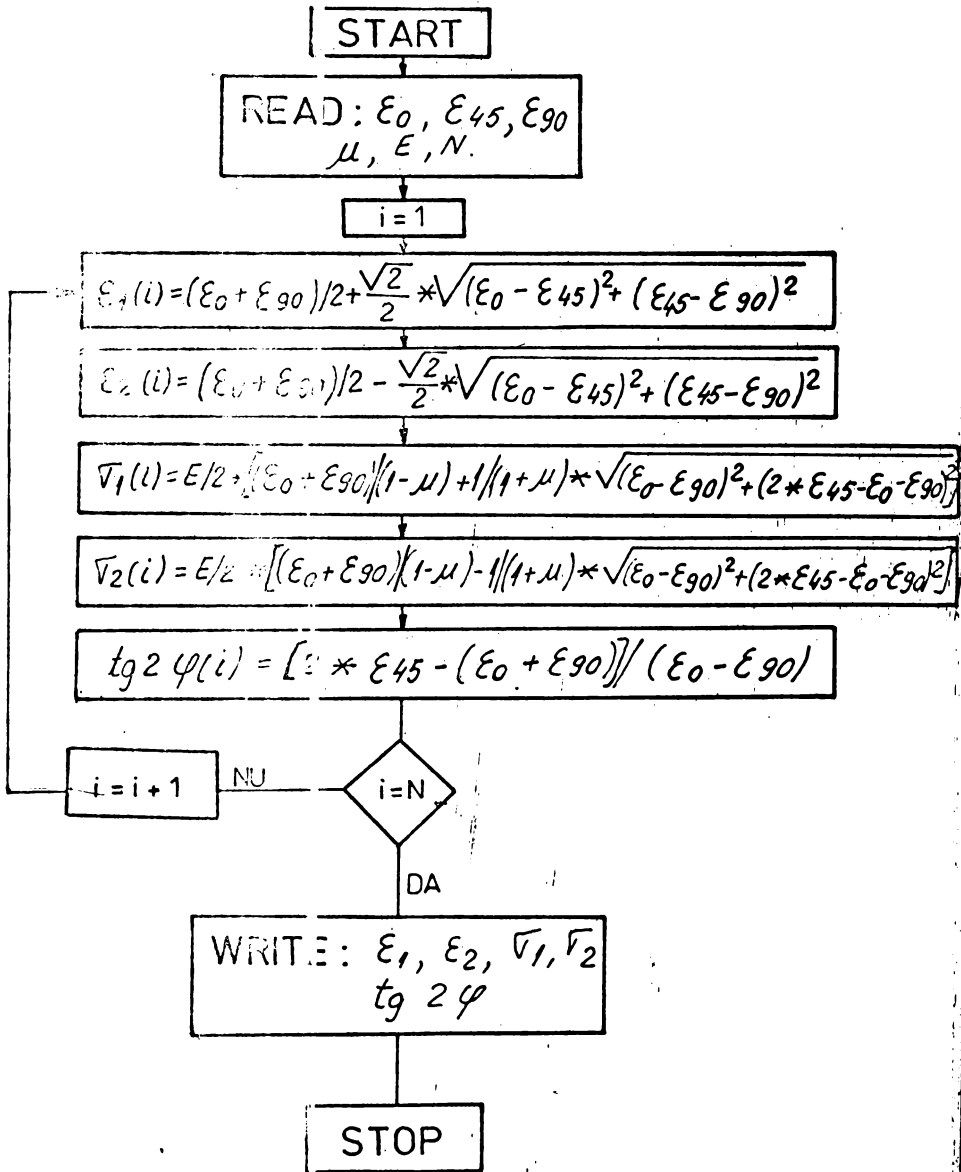
Aplicând relațiile pentru calculul tensiunilor normale principale, relația pentru tensiunea efectivă maximă (τ_{max}) și pentru determinarea $\text{tg } 2\varphi$, vor fi obținute mărimile σ_I ; σ_{II} ; τ_{max} ; φ .

De asemenea prin aplicarea formulilor pentru determinarea deformațiilor specifice principale se vor obține aceste deformații pe cele două direcții principale, ξ_I și ξ_{II} . În tabelul 4.4.2 se prezintă aceste valori pentru cazurile analizate.

Tabelul 4.4.2.

Variația mărimii unor segmente ale probei 4 din
fig. 3.4.1.

Roze- ta	Pozi- ția (°)	Valoarea ϵ			
	după sudare	după decupare	după găurire	efectul gau- rii	
15	90	0,0199	- 0,0199	- 0,0149	0,0050
17	45	0,0298	- 0,0099	- 0,0148	- 0,0049
18	0	- 0,0198	0,0197	0,0247	0,0049
20	0	0,0099	- 0,0049	0	0,0049
21	45	- 0,0148	0,0198	0,0396	0,0198
22	90	- 0,0148	- 0,0049	- 0,0148	0,0099
23	90	- 0,0099	- 0,0149	- 0,0149	0
24	45	- 0,0049	- 0,0396	- 0,0696	- 0,0094
25	0	- 0,0049	0	- 0,0049	- 0,0049
27	90	0,0099	- 0,0099	- 0,0099	0
28	45	- 0,0298	- 0,0198	- 0,0099	0,0099
30	0	- 0,0198	- 0,0395	- 0,0395	0
31	0	- 0,0247	0,0247	0,0198	- 0,0049
32	45	0	- 0,0296	- 0,0445	- 0,0148
33	90	0	- 0,0149	- 0,0248	- 0,0099
34	90	- 0,0447	0,0298	0,0149	- 0,0149
35	45	- 0,0396	- 0,0693	0,0742	- 0,0049
37	0	0,0248	0,0248	0,0298	0,0049
38	90	- 0,4605	0,4527	0,4527	0
40	45	- 0,0049	0	0,0099	0,0099
41	0	0	0,2795	- 0,0396	0,0198
42	0	- 0,0099	0,0099	0,0049	- 0,0049
43	45	- 0,0397	0,0814	0,0742	- 0,0049
44	90	- 0,0396	0,0248	0,0248	0
45	90	0,0149	- 0,0347	- 0,0646	- 0,0298
48	45	0,0297	- 0,0247	- 0,0148	- 0,0148
47	0	0	0,0194	0,0199	0
50	90	0,0049	- 0,0197	- 0,0197	0
51	45	- 0,0198	0,0247	0,0247	0
52	0	- 0,240	0,0495	0,0545	0,0049
53	0	0	- 0,0099	- 0,0148	- 0,0049
54	45	- 0,0198	- 0,0347	0,0248	0,0099
55	90	- 0,0148	- 0,0298	- 0,0447	- 0,0148
57	90	- 0,0049	- 0,0298	- 0,0397	- 0,0099
58	45	- 0,0049	- 0,0298	- 0,0347	- 0,0099
70	0	0,0049	0,0198	0,0248	0,0049
71	90	0	- 0,0049	- 0,0099	- 0,0049
72	45	0,0445	- 0,0742	- 0,0693	- 0,0049
73	0	0,0545	- 0,0049	- 0,0049	0
74	0	- 0,0049	0,0297	0,0198	- 0,0098
75	45	- 0,0495	- 0,0346	- 0,0396	- 0,0099
77	90	- 0,0049	- 0,0049	- 0,0149	- 0,0100



SCHEMA LOGICA A PROGRAMELOR DE
CALCUL CONFORM LEGII HOOKE GENERALIZATA

Tabelul 4.4.3.

Tensiunile și deformările principale
funcție de valorile din tabelul 4.4.1.

Ro- zeta	za	σ_I	σ_{II}	τ_{max}	ϵ_I	ϵ_{II}	tg 2φ	2φ
		daN/mm ²			%			
14	a	0,7955	- 6,8517	3,8226	0,0224	- 0,0421	- 1,3446	126°30'
13	b	1,3573	- 5,8857	3,6215	0,0258	- 0,4065	0,3318	18°20'
12	c	2,6356	- 7,4087	5,0227	0,0419	- 0,0605	- 0,2233	167°15'
	d	4,2640	- 1,7826	3,0233	0,0225	- 0,0143	- 3,7572	105°
13	a	plastic	2,8179	22,1186	0,2320	- 0,0690	0,8069	420°15'
17	b	15,0280	7,7361	3,6459	0,0706	0,0038	0,3393	18°32'
15	c	15,2927	8,9708	3,1609	0,0728	0,0065	- 0,2381	12°50'
	d	2,6903	- 1,1910	1,9407	0,0103	- 0,0054	5,0408	78°30'
41	a	plastic	5,2021	plastic	0,3037	- 0,1157	0,7686	37°30'
40	b	-12,0648	plastic	plastic	0,0411	- 0,3327	1,2641	50°50'
38	c	-16,8584	plastic	0,0161	0,0106	- 0,3170	1,3905	54°20'
	d	0,6422	- 5,1705	2,9063	0,0100	- 0,0328	0,4335	23°30'
42	a	-37,0027	plastic	plastic	0,0580	- 0,7055	1,1094	47°52'
43	b	plastic	29,5037	plastic	0,6116	- 0,0946	0,8207	39°30'
44	c	plastic	29,0294	plastic	0,5328	- 0,1105	0,7729	36°32'
	d	- 0,3233	- 4,1744	1,9256	0,0076	- 0,0183	- 4,9999	17°
52	a	38,9707	plastic	plastic	0,1722	- 0,2018	14,2741	85°45'
51	b	6,8177	- 0,7595	3,7087	0,0320	- 0,0322	0,7662	36°30'
50	c	8,7367	- 1,1793	4,9580	0,0377	- 0,0130	1,5759	67°30'
	d	2,7054	- 1,2062	0,5558	0,0135	- 0,0886	- 5,0816	101°10'
74	a	plastic	-	plastic	1,0944	- 1,0944	-	-
75	b	plastic	-	plastic	1,0487	- 1,0339	67,3018	89°32'
77	c	plastic	-	plastic	1,0330	- 1,0281	66,7697	89°22'
	d	0,6895	- 3,6860	2,1887	0,0091	- 0,0651	-	90°

a, b, c, d-au semnificațiile indicate.

După cum rezultă din tabelul 4.4.3 la unele rozete s-au obținut deformări ale segmentelor mai mici de 0,2 %, lucru ce a permis să fie obținute valori corespunzătoare domeniului elastic.

În schimb acolo unde valorile deformărilor pentru unul sau mai multe segmente ale rozetelor au depășit această valoare au fost obținute valori pentru mărimile calculate, care dovedesc că determinarea acestora prin relații stabilite pe baza teoriei elasticității nu mai este valabilă. Aceste cazuri, la care în tabelul 4.4.3 s-a trecut mențiunea „plastic” au semnificațiile stabilite.

După cum rezultă din tabelul 4.4.3 la unele rozete s-au obținut deformări ale segmentelor mai mici de 0,2 %, corespunzător limitei de elasticitate, lucru ce a permis să fie calculate valorile tensiunilor corespunzătoare, iar mențiunea „plastic” urmează a fi rezolvată pe baza teoriei plasticității. De remarcat că după cum era și de așteptat operațiile efectuate asupra probelor (decupări, găuriri) modifică sensibil starea de tensiuni.

În tabelul 4.4.4 se prezintă tensiunile și deformările prin-

cipale pentru proba sudată 4, ale căror deformații se prezintă în tabelul 4.4.2.

Tabelul 4.4.4.

Tensiunile și deformațiile principale
funcție de valorile din tabelul 4.4.2
(proba 4)

No- zeta	Pa- za	σ_I	σ_{II}	τ_{max}	ϵ_I	ϵ_{II}	$tg 2\varphi$
		daN/mm ²					
0	1	2	3	4	5	6	7
18	a	6,836	5,310	0,793	0,00023	0,00016	-98,999
17	b	11,145	-2,027	6,587	0,00079	0,00049	-0,7126
15	c	14,996	6,299	4,348	0,0075	0,0005	-1,0050
	d	3,032	-0,0037	1,5182	0,00012	0,0002	196,998
20	a	1,942	-3,442	2,692	0,00022	0,00027	-1,0
21	b	2,308	-5,3064	3,807	0,0001257	0,000224	-
22	e	5,069	-9,598	7,334	0,000225	0,0037	6,351
	d	4,214	0,314	1,949	0,0001851	0,00004	-4,96
25	a	-1,719	-2,569	0,545	-0,0000306	0,0001894	1,0
24	b	5,840	-10,399	8,119	0,00036	0,00057	-7,0
23	e	6,204	-12,263	9,234	0,00036	0,00056	-11,94
	d	0,459	-1,958	1,208	0,000025	0,000074	3,04
30	a	2,947	-5,977	4,482	0,00017	0,00027	1,67
28	b	-6,158	-15,076	4,459	0,000102	0,00079	-0,06
27	e	-5,211	-16,023	5,406	0,00015	0,00024	-1,0
	d	1,526	-1,526	1,526	0,00007	0,0007	-
31	a	-1,306	-7,780	3,237	0,00014	0,00044	-1,0
32	b	7,630	-4,632	6,131	0,00052	0,00043	-1,742
33	e	6,565	-8,095	7,329	0,00053	0,0058	-1,083
	d	-1,060	-3,468	1,204	0,0000044	0,000152	-2,960
37	a	3,996	-10,085	7,001	0,00057	0,00077	-0,853
35	b	14,007	2,698	5,684	0,00052	0,000029	14,64
34	e	14,912	-1,230	6,074	0,00055	0,00011	6,96
	d	-0,0038	-3,056	1,526	0,00011	0,00021	0,01
41	a	-20,791	plastic	plastic	0,00093	0,00056	0,979
40	b	plastic	plastic	plastic	0,00098	0,00133	4,197
38	c	-12,673	plastic	plastic	0,00142	0,00055	0,88
	d	4,555	1,503	1,526	0,00026	0,000058	0
42	e	-4,325	-10,821	3,243	0,00005	0,00035	-189067
43	b	15,248	-4,630	9,939	0,00069	0,00034	-8,597
44	e	14,011	-5,523	10,067	0,00069	0,00039	-6,487
	d	-0,215	-1,284	0,534	0,000010	0,00006	1,0
47	a	5,896	-1,337	3,617	0,0003	0,00016	-2,981
48	b	3,169	-7,697	5,433	0,000448	0,00059	-0,817
45	c	-0,223	-13,454	6,615	0,000422	0,00087	0,175
	d	-2,262	-6,856	2,297	0,000086	0,00038	0,0067
52	a	-11,817	plastic	24,150	0,001153	0,00035	-0,798
51	b	10,122	-0,974	5,548	0,00067	0,00037	0,281
50	c	11,152	-0,504	5,828	0,00074	0,00039	0,197
	d	1,284	0,215	0,534	0,00074	0,000024	-1,0
53	a	-0,056	-4,502	2,223	0,00010	0,000250	-1,657
54	b	-3,318	-8,829	2,755	0,000026	0,00042	-1,492
55	c	-0,384	-17,821	8,718	0,000053	0,00065	3,649
	d	3,005	-8,987	3,148	0,000027	0,00023	3,96
70	a	1,068	-1,068	1,068	0,000098	0,000098	-1,0
58	b	3,876	-6,936	5,406	0,000446	0,00046	-0,999
57	e	4,228	-8,787	6,508	0,000546	0,000695	-0,845
	d	0,848	-2,378	1,613	0,000123	0,000173	-1,0

Continuare tabel 4.4.4.

0	1	2	3	4	5	6	7
73	a	13,308	3,357	4,901	0,000664	-0,000119	0,633
72	b	9,182	-12,180	10,681	0,000441	-0,00540	
71	c	7,284	-11,813	9,548	0,000382	-0,00053	-24,760
	d	0,444	-1,944	1,194	0,0000245	-0,000074	3,0
74	a	5,375	-8,374	6,874	0,000266	-0,000364	
75	b	11,514	-3,926	7,719	0,00064	-0,000392	-2,717
77	c	7,761	-6,262	7,011	0,00051	-0,000462	-2,424
	d	-3,014	-3,045	0,015	-0,000097	-0,00010	0

Din tabelele 4.4.1 și 4.4.2 rezultă pentru oțel că pentru a se obține tensiuni principale în limita domeniului elastic se impune ca deformațiile obținute ca urmare a sudării să fie individual mai mici ca 0,2 %.

Tabelul 4.4.5.

Tensiunile remanente principale din probele sudate 3 și 4

Rozeta	Proba	Tensiunile remanente (daN/mm ²)			
		după decupare		după executarea găurii	
		max.	min.	max.	min.
14,13,12	3	-0,5638	-0,9560	-1,8621	0,5570
	4	-	-	-	-
18,17,15	3	plastic	-4,9182	plastic	-6,1529
	4	-4,309	7,33	-8,160	-0,989
20,21,22	3	-3,606	-0,892	-4,053	7,613
	4	-0,366	1,864	-3,127	6,156
25,24,23	3	42,883	43,309	45,793	45,202
	4	-7,559	7,590	-7,923	9,454
30,28,27	3	-18,035	-6,290	-18,811	-14,631
	4	9,105	9,099	8,158	10,046
31,32,33	3	-12,275	-20,756	-11,482	-16,990
	4	-8,936	-3,148	-7,871	0,315
37,35,34	3	-25,959	-34,990	-11,889	2,281
	4	-10,011	-12,783	-10,916	-8,849
41,40,38	3	plastic	plastic	plastic	plastic
	4				
48,47,45	3	2,838	4,669	2,295	8,322
	4	2,727	-6,119	6,119	+12,117
52,51,50	3	32,1030	plastic	30,1840	plastic
	4	-21,533	plastic	-22,969	plastic
53,54,55	3	5,986	15,246	7,507	13,728
	4	3,262	4,327	0,328	13,319
70,58,57	3	-11,055	0,938	-11,285	2,699
	4	2,804	5,872	-3,160	7,719
73,72,71	3	4,321	-	9,464	-
	4	4,226	15,547	6,024	15,180
74,75,77	3	plastic	plastic	plastic	plastic
	4	-6,139	-4,448	-2,386	-2,115

Pe baza datelor din tabelele 4.4.3 și 4.4.4. în tabelul 4.4.5 se arată valoarea tensiunilor remanente comparativ cu aceleași zone ale probelor 3 și 4, analizând aceleași rozete.

Din valorile prezentate în tabelul 4.4.5 se deduc următoarele:

- efectele operațiilor tehnologice executate la probe după sudare, (respectiv decuparea în fișii și găurirea în mijlocul segmentelor care alcătuiesc rozeta) ;

- efectul procesului de preîncălzire, care este evident în cazul probei 4.

Deși ca urmare a testării uzuale (a se vedea cap. 2.3) nu a rezultat necesitatea tratamentului de preîncălzire pentru sudarea tablei din oțel marca OL 52 cu grosimea de 21 mm, prin analiza directă a tensiunilor remanente efectul acestui tratament este evident.

În tabelul 4.4.6. se prezintă valoarea tensiunilor remanente maxime rezultate la probele sudate și după operațiile efectuate.

Se poate deduce că în ceea ce privește tensiunile remanente din probele sudate efectul favorabil al preîncălzirii pentru toate grosimile analizate (exemplu probele 2b, 4b, 6b, 8b, 11 și 12) probele sudate cu energie liniară mai mică conduce la tensiuni remanente mai mari (exemplu probele 5b în comparație cu 7b) 3c în comparație cu 4b).

Faptul că majoritatea tensiunilor remanente rezultate sînt de compresie se explică și prin ceea ce o parte din rozetele amplasate lângă punctul în care sînt deteriorate, prin ceea ce au găsit bi-lane de eșii, (cum este cazul rozetelor (1, 2, 5), (4, 5, 7), (8, 10, 11) la probele 2 și 4. În prezentul analizare rozetelor s-a făcut la cea mai mare din cele două puncte ale probei 13a și 13b (4.3.1.1).

**5. ANALIZA TERMICĂ DIFERENTIALĂ, METODA DE INVESTIGARE
PENTRU DETERMINAREA DEFORMAȚIILOR ȘI TENSIUNILOR
REMANENTE DIN METALE**

5.1. Analiza termică diferențială

Ca urmare a procesului de sudare rezultă în metal deformații și tensiuni, care pot fi puse în evidență și cu ajutorul analizei dilatometrice.

Metalele la încălzire se comportă diferit și în tabelul 5.1. se prezintă valoarea coeficientului de dilatare termică liniară α la anumite temperaturi. [88]

Tabelul 5.1.

Variația coeficientului α cu temperatura [88]

Intre 20°C și (°)C	100	200	300	400	500	600
$\alpha \times 10^{-6} (1/)$	11	12	13	13	14	14

Este indicată determinarea efectivă a valorii coeficientului de dilatare α pentru anumite temperaturi, având în vedere că acesta este influențat și de starea de tensiune a materialului.

Astfel în cazul îmbinărilor sudate, caracterizate prin neomogenitatea chimică din cusătură, ca și caracteristicile tehnice diferite din zonele distincte ale îmbinării, în prezența deformațiilor și a tensiunilor remanente prezintă un interes deosebit analiza termică dilatometrică.

Analiza termică diferențială pune în evidență nu numai punctele de transformare dar sub influența căldurii se modifică și starea de tensiune prin creșterea mobilității atomilor din rețeaua cristalină.

După natura tensiunilor sub influența temperaturilor se vor produce mărimi, respectiv micșorări de volum. Astfel în cazul prezenței tensiunilor remanente de întindere la temperaturile ridicate, metalul va suferi micșorări de volum, iar în cazul tensiunilor de compresiune, materialul își va mări volumul.

De asemenea la modificarea valorilor coeficientului de dilatare termică α trebuie să se aibă în vedere că metalul de aport, provenit din sîrma electrodului topit, ca și metalul cusăturii participă într-o mică măsură la formarea contracției îmbinării [88].

Experimentările au fost efectuate cu dilatometrul diferențial după Ulbricht al cărui principiu este prezentat în figura 5.1.

In figura 5.1.a, se prezintă modul de așezare al epruvetei în dilatometru, iar în figura 5.1.b., este arătat principiul de funcționare al dilatometrului utilizat.

Gradientul de creștere al temperaturii este diferit pe domenii ale temperaturii astfel:

- între 100 și 400°C gradientul de creștere al temperaturii este de cca 3°C/min ;
- între 400 și 700°C acesta este de cca 1°C/min ;
- între 700 și 900°C gradientul este de cca 0,8°C/min.

Coefficientul de dilatare termică liniară α a fost determinat pe epruvete cilindrice cu diametrul de 12 mm și lungimea de $65 \pm 0,1$ mm. Relația pentru determinarea valorii acestui coeficient este :

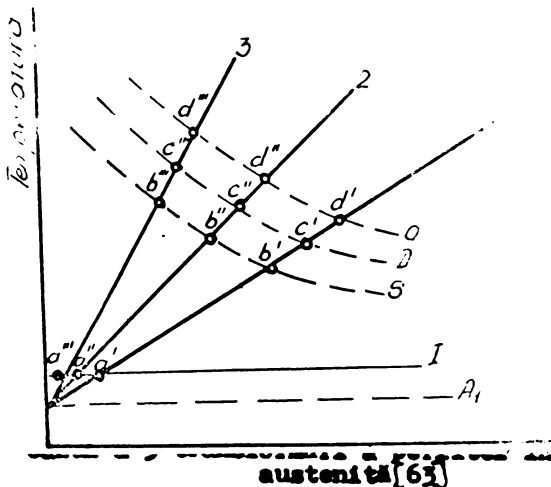
$$\alpha = \frac{\Delta l}{k.l_0} + \frac{0,54}{10^6} \quad [1/\text{grad}] \quad (5.1)$$

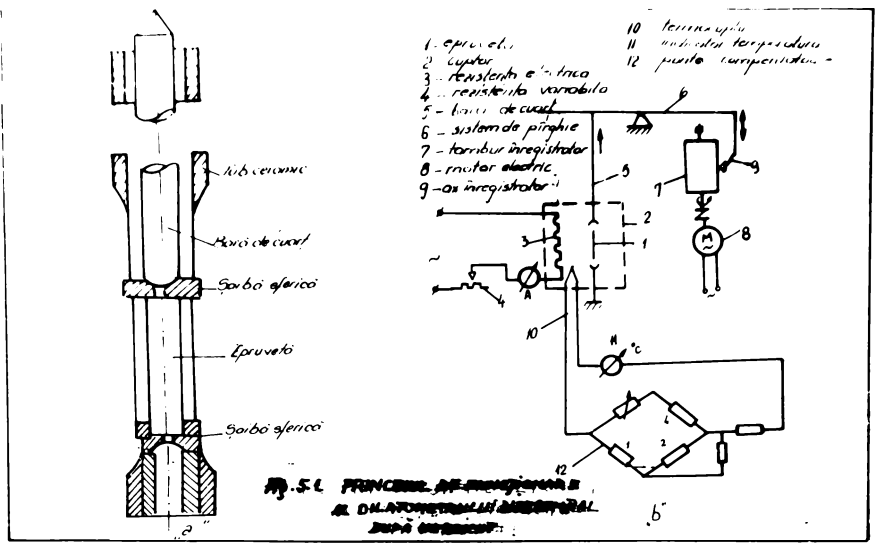
unde:

- Δl = alungirea pentru temperatura dorită ;
- k = factorul de amplificare al mecanismului pentru transmiterea alungirii și are valoarea de 200 și 400 ;
- l_0 = lungimea inițială a epruvetei ($65 \pm 0,1$ mm) ;
- $\Delta \theta$ = diferența de temperatură dintre valoarea temperaturii dorită și 20°C ;
- $\frac{0,54}{10^6}$ corecția avînd în vedere alungirea barei de cuarț.

5.2. Fenomenele produse la încălzire și factorii care le influențează

Pentru același oțel transformarea perlitului în austenită este mult influențată de gradientul de temperatură la încălzire. În figura 5.2.1. se prezintă cazul a trei diagrame de transformare a perlitului în austenită, înclinarea dreptelor 1, 2 și 3 fiind determinată de viteza de încălzire [63]. Dreapta I reprezintă începutul transformării perlitului în austenită, iar curba S se referă la sfîrșitul acestei transformări. Curba D reprezintă sfîrșitul dizolvării carburilor, iar curba O se referă la sfîrșitul omogenizării.





Punctele a, b, c și d de pe dreptele 1, 2 și 3 cu intersecția dreptei I și a curbelor S, D și O reprezintă temperaturile respective, care se realizează la timpi diferiți, funcție de regimul termic aplicat la încălzire.

Un rol important îl are structura efectivă la începutul transformării, în sensul că în cazul structurilor disperse temperatura Ac_1 este coborâtă și timpul de transformare al perlităi se reduce.

În cazul structurilor alcătuite din perlită și troostită pali-erul Ac_1 este coborât cu 30 ... 40°C.

De asemenea mărimea grăuntelui influențează transformarea perlităi în austenită. În figura 5.2.2. se prezintă cazul a două oțeluri unul cu granulație grosolană și altul cu granulație fină.

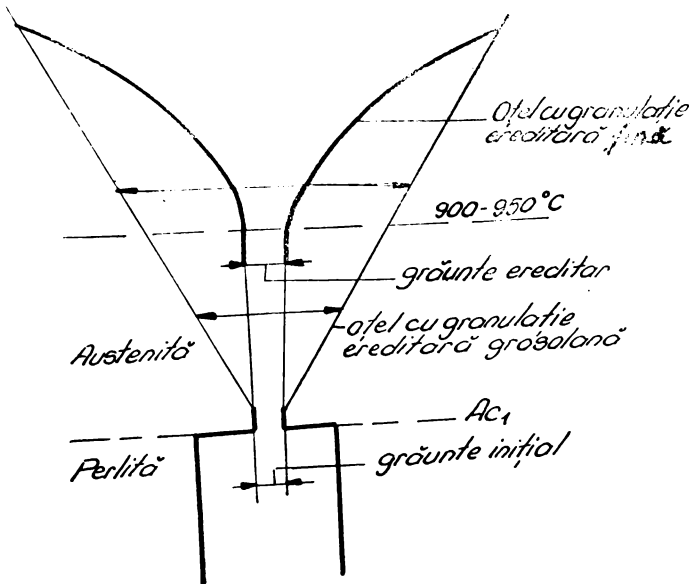


Fig. 5.2.2.
Cinetica creșterii grăuntelui la două oțeluri cu granulație diferită [63]

La început creșterea grăuntelui este împiedicată de tendința sistemului de ași micșora energia liberă.

După aceea se constată comportări mult diferite ale oțelurilor. Astfel oțelul cu granulație ereditară fină, nu se constată o creștere a grăuntelui pînă la temperatura de 950...1000°C, după care acesta începe să crească rapid.

În schimb, oțelul cu granulație grosolană prezintă creșterea grăuntelui imediat.

5.3. Tensiunile remanente produse la procesele termice

Tratamentele termice sînt însoțite de tensiuni remanente produse de transformările care au loc simultan cu dilatățile și contracțiile produse prin variația temperaturii. Tensiunile remanente pot fi termice și structurale. În figura 5.3.1. se prezintă în principiu schema producerii tensiunilor remanente care produc deformația Δl

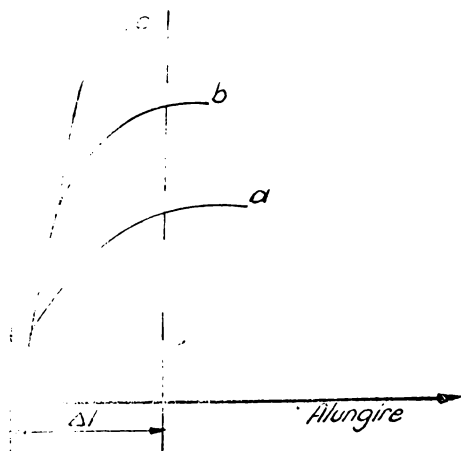


Fig. 5.3.1.

Schema producerii tensiunilor remanente datorită deformării plastice [63]

La încălzire sub punctul critic nu există în oțel decât tensiuni termice și lipsesc cele structurale. La încălzirea peste AC_1 vor fi prezente tensiunile structurale și cele termice.

Viteza de răcire influențează mult mărimea tensiunilor remanente, în special asupra tensiunilor termice.

Eliminarea tensiunilor remanente se face prin detensionarea termică, când nivelul tensiunilor este redus datorită curgerii plastice și a micșorării limitei de curgere, corespunzător temperaturii la care s-a efectuat tratamentul. Prin recoacere vor fi reduse tensiunile remanente a căror valoare depășește limita de curgere.

Detensionarea completă se realizează datorită relaxării prin fluaj, definit printr-o deformare constantă. Pentru epruveta solicitată la tensiune, care prezintă o deformare totală ϵ , la o temperatură la care poate să se producă fluajul, se poate scrie relația:

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p = \frac{\sigma}{E} + \epsilon_p \quad (5.3.1)$$

unde:

- ϵ = alungirea totală ;
- ϵ_e = alungirea elastică ;
- ϵ_p = alungirea plastică.

În figura 5.3.2. se prezintă cazul detensionării prin fluaj, la care stările de tensiune T_1 , T_2 și T_3 determină regimul aplicat [44].

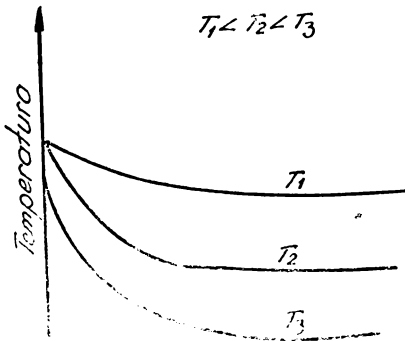


Fig.5.3.2.
Detensionarea prin fluaj [44]

Pentru a cerceta fenomenele termice produse in cazul oțelului marca OL 37 STAS 500-80 au fost efectuate tratamente termice după cum se prezintă in tabelul 5.4.1. Acestea au fost încălzite la temperaturi diferite, iar răcirea s-a realizat in medii distincte, deci cu viteze de răcire diverse, ca referință luându-se valorile coeficientului α a oțelului in starea de livrare [136].

Tabelul 5.4.1.

Tratamentele termice pe probe din OL 37

Proba	Tratamentul termic aplicat	
	Încălzire (°C)	Răcire
A	950	apă
B	950	ulei
C	950	aer
D	650	aer
E	starea de livrare	

După cum rezultă din tabelul 5.4.1. s-a urmărit analizarea unor situații care vor fi regăsite datorită proceselor termice la sudare.

In tabelul 5.4.2. se prezintă valoarea coeficientului de dilatare termică liniară α pentru probele cercetate.

Tabelul 5.4.2.

Coeficientul α la probele tratate termic din OL 37

Temperatura C	Valoarea coeficientului, $\alpha \times 10^{-6}/\text{grad}$				
	1	2	3	4	5
100	1,50	5,64	5,54	5,54	4,55

0	1	2	3	4	5
200	5,55	9,80	9,14	13,84	7,90
300	8,52	13,79	11,40	16,74	10,92
400	12,50	16,40	14,74	17,30	13,63
500	17,39	18,34	17,44	17,44	17,45
600	18,64	18,64	18,40	17,84	18,25
700	18,24	17,64	17,64	18,04	18,07
800	16,54	17,54	16,34	16,54	15,72
900	15,04	17,20	14,11	15,14	13,90
1000	14,34	17,84	14,64	15,84	-

In figura 5.4.1 se prezintă curbele dilatometrice ale probelor A, B, C, D și E. Din analiza acestora și a valorilor coeficientului α ,

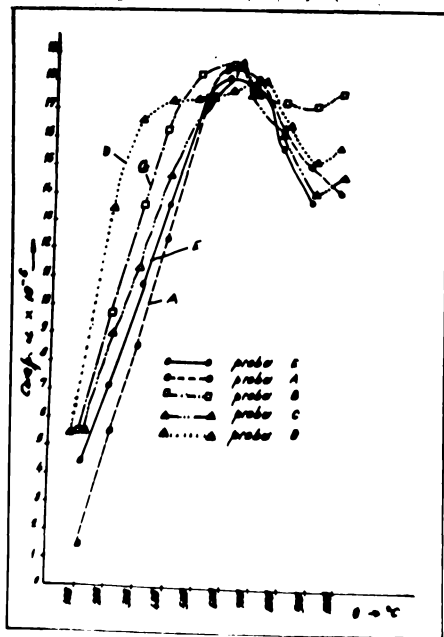


Fig. 5.4.1.

Curbele dilatometrice ale probelor A, B, C, D și E

rezultă următoarele :

- proba A are curba dilatometrică plasată sub cea a probei E, respectiv a oțelului în starea de livrare pînă la temperatura de 500°C ;

- probele B, C și D au curbele dilatometrice plasate deasupra curbei probei E ;
- proba C normalizată are curba dilatometrică cea mai apropiată de proba E ;
- ca înclinare curba D este mult diferită în comparație cu celelalte.

Analizate pe domenii ale temperaturilor rezultă următoarele:

- la 100°C probele se comportă aproape identic, având valori apropiate ale coeficientului de dilatare termică liniară α , excepție făcând proba A, care corespunde oțelului în starea calită în apă ;

- în domeniul temperaturilor $200 \dots 500^{\circ}\text{C}$ probele prezintă comportări mai diferite în ceea ce privește valoarea coeficientului de dilatare termică liniară ;

- în domeniul $500 \dots 800^{\circ}\text{C}$ valorile coeficientului de dilatare termică liniară α devin convergente la toate probele ;

- la temperatura de 900°C valorile coeficientului de dilatare termică liniară sînt superioare în comparație cu valoarea oțelului în starea de livrare. Cea mai apropiată valoare de aceea a probei E, fiind constatată pentru proba C din oțel normalizat ;

- la temperaturile de 900 și 1000°C se manifestă o dispersie a coeficientului de dilatare termică liniară.

Pe baza rezultatelor obținute pe probele din oțel supuse tratamentelor termice indicate se poate concluziona că acestea se comportă diferit pînă la temperatura de 500°C . Acest lucru se poate explica numai prin faptul că probele prezintă stări de tensiune diferite, cauzate de tratamentele termice aplicate. Prin încălzire stările tensionale încep a fi modificate, constatîndu-se că la 500°C toate probele se găsesc la același nivel de tensiune. După cum se cunoaște prin încălzire, tensiunile remanente produse ca urmare a aplicării unor procedee tehnologice se „eliberează” ajungînd la starea de detensionare, adică la nivelul inițial al tensiunilor.

Efectul detensionării este influențat de nivelul tensiunilor remanente din material și temperaturii la care acesta s-a încălzit.

Comportarea identică a tuturor probelor analizate în domeniul temperaturilor $500 \dots 800^{\circ}\text{C}$ atestă faptul că în acest domeniu oțelul a fost complet detensionat, sub acțiunea termică.

În sfîrșit comportarea diferită a probelor pentru temperaturile superioare celei de 800°C se explică prin apariția transformărilor corespunzătoare punctului AC_3 , ceea ce conduce la valorile dife-

rite ale coeficientului α .

Comportarea diferită pentru aceste domenii este justificată datorită faptului că structura oțelului din probele analizate este diferită, avînd în vedere tratamentele termice aplicate acestora anterior.

Se poate reține că prin experimentarea efectuată au fost stabilite comportări diferite ale oțelului la încălzire, avînd în vedere următoarele :

- modificarea stării tensionale existentă înaintea încălzirii metalului ;
- modificările structurale care se produc la schimbările de fază.

Dacă se analizează curbele dilatometrice ale probelor A,B,C,D în comparație cu cele ale oțelului în starea de livrare (proba E) se poate deduce următoarele [fig.5.4.2)

- proba A - (încălzirea peste AC_3 și răcire în apă) tensiunile remanente sînt de întindere, avînd în vedere valorile coeficientului α inferioare în comparație cu oțelul în starea de livrare și aceasta pînă la temperatura de $500-600^\circ\text{C}$, cînd se produce detensionarea ;

- probele B,C și D - prezintă tensiuni remanente de contracție avînd în vedere că se obțin valori mai mari ale coeficientului α , în comparație cu valorile acestui coeficient al probei E. Se constată aceeași temperatură cu efect de relaxare termică de $500-600^\circ\text{C}$ la probele tratate termic.

Pentru a lua în considerare și oțelul depus din electrodul bazic Superbaz cu diametrul de 4 mm, în tabelul 5.4.3., se prezintă valorile determinate ale coeficientului de dilatare termică liniară [13].

Tabelul 5.4.3.

Coeficientul α la metalul depus din electrod
Superbaz

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\alpha \times 10^{-6}$	6.0	6.2	12.3	14.4	16.8	16.2	15.5	13.8	12.8	13.1

Comparînd valorile coeficientului α al metalului depus din electrod prin topire, în comparație cu cel al metalului de bază (proba E) din tabelul 5.4.2 se constată în general valori mai mici.

Acest lucru se explică prin faptul că metalul depus prin topă-

pirea electrodului prezintă o neomogenitate structurală, fiind prezente atât structuri dendritice primare, cât și structuri transformate datorită temperaturii dezvoltată la depunerile în straturi succesive.

În continuare interpretarea rezultatelor obținute prin experimentările efectuate au fost analizate aceste valori în comparație cu proba C, care corespunde unei structuri de normalizare și cu proba D, care reprezintă cazul recristalizării.

În ambele cazuri se ia în considerare și metalul depus din electrodul Superbaz, notat cu „S”.

În figura 5.4.3 se prezintă diferențele valorilor coeficientului α în comparație cu proba C, iar în figura 5.4.4 se arată același lucru în comparație cu proba D.

De remarcat că pînă la 500°C în comparație cu proba C diferențele cele mai însemnate ale coeficientului α se obțin în cazul probei D (tensiuni de compresiune) și la proba A (tensiuni de întindere).

De asemenea în comparație cu proba D, pînă la temperatura de 500°C se constată că diferențele coeficientului α sînt specifice în toate cazurile tensiunilor remanente de întindere, cele mai mari diferențe fiind cele pentru proba A, urmate de proba S din electrod și proba E, corespunzătoare oțelului în starea de livrare. De aici rezultă efectul favorabil al relaxării termice.

5.5. Determinarea coeficientului de dilatare termică pe epruvetele prelevate din probă sudată cap la cap din OL 37

Cercetările au fost continuate pe epruvete prelevate dintr-o probă sudată cap la cap în cap din oțel OL 37, cu dimensiunile $500 \times 340 \times 15$ mm. Pregătirea probei este prezentată în capitolul 4. Epruvetele au fost prelevate perpendicular și paralel la axa cusăturii sudate, care au cuprins elemente ale cusăturii sudate și din metalul de bază, paralel la cusătura sudată și fără a conține elemente din cusătura sudată [136].

Epruvetele pentru analiza dilatometrică prezentate în figura 5.5.1 cuprind în proporții diferite elemente ale cusăturii și s-au găsit la anumite distanțe de axa cusăturii sudate. Epruveta notată cu „h” mm a conținut elemente din cusătura sudată.

Variația coeficientului de dilatare termică liniară se poate explica datorită neomogenității epruvetelor, avînd în vedere faptul că acestea conțin atât metal de bază, cât și elemente ale cusăturii sudate. De asemenea metalul de bază datorită influenței procesului

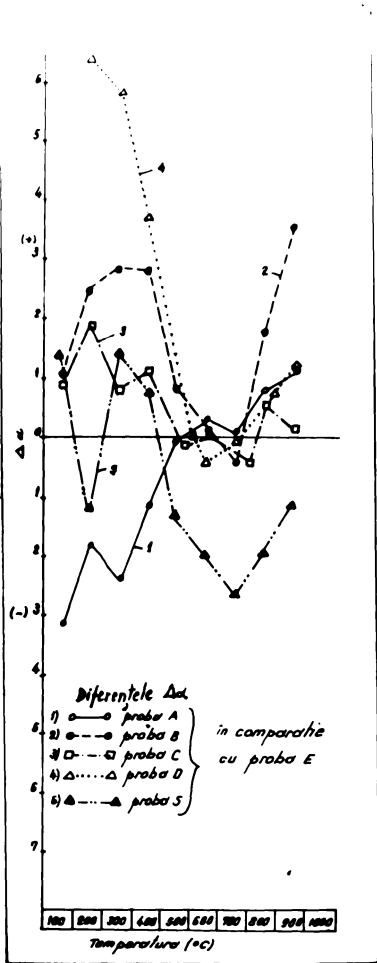


Fig. 5.4.2

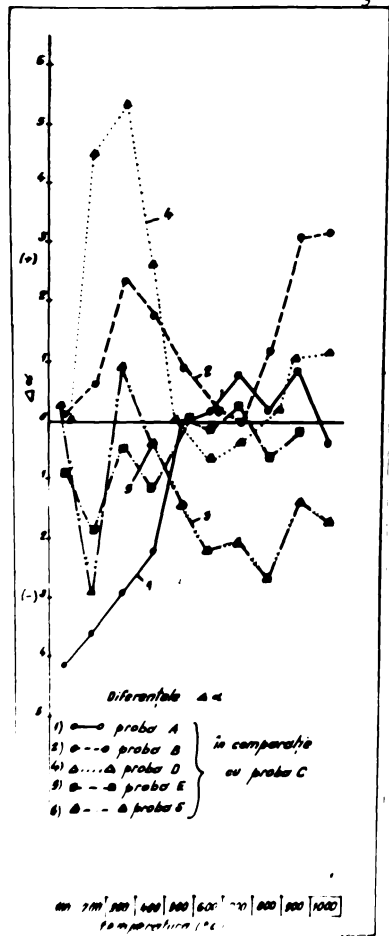


Fig. 5.4.3

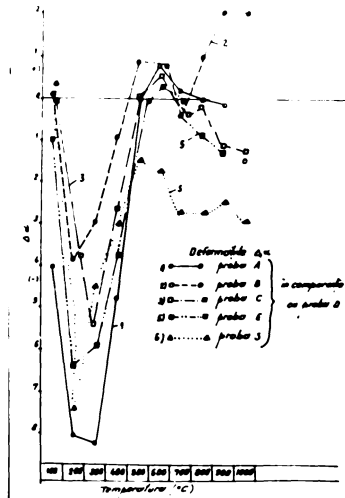


Fig. 5.4.4

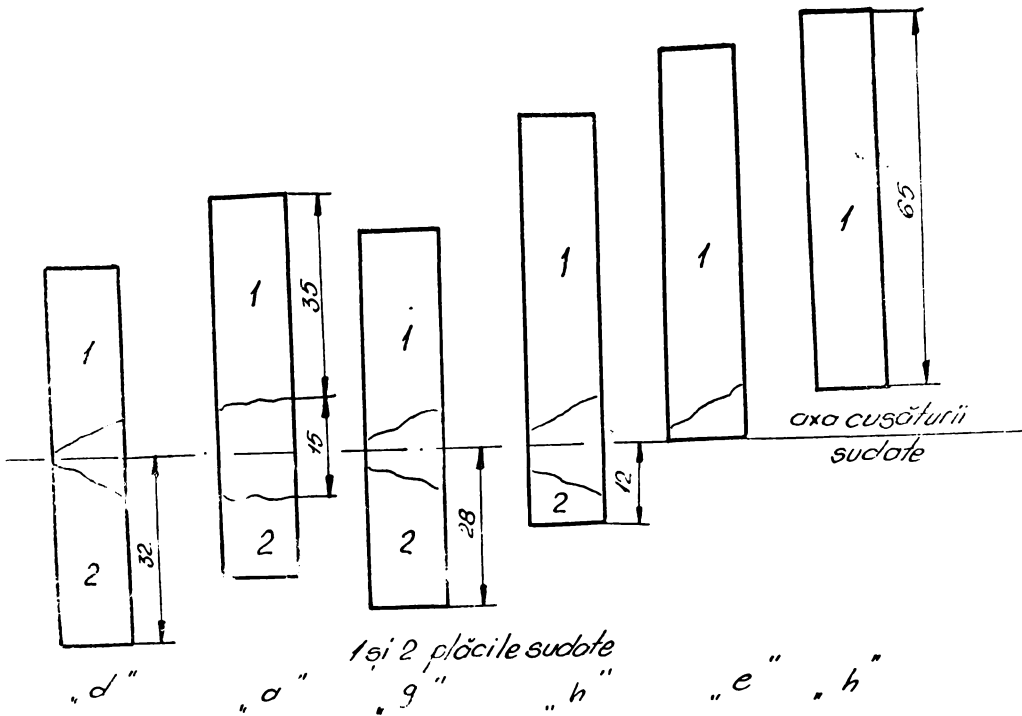


Fig.5.5.1.

termic la sudarea probei se comportă diferit în privința coeficientului de dilatare termică liniară.

În tabelul 5.5.1 se prezintă valorile obținute pentru coeficientul de dilatare termică liniară, atât pentru epruvetele prelevate perpendicular la axa cusăturii sudate, și paralel la aceasta.

Epruvetele prelevate perpendicular la cusătura sudată, cu excepția epruvetei h, conțin toate zonele caracteristice unei îmbinări sudate: zona cusăturii, Z.I.T și metalul de bază din ce în ce mai puțin influențat de procesul termic care totuși nu a fost lipsit de influența deformațiilor provocate prin procesul de sudare.

Tabelul 5.5.1.

Variația coeficientului $\alpha \cdot 10^{-6}$ (1/grd) la epruvetele din proba sudată

areaș pozitia în epruveta	TEMPERATURA (°C)										Observații
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
h	6,03	9,15	12,45	16,65	18,89	18,75	18,07	15,63	14,34	13,12	Fără metal de aport
e	5,14	8,15	11,36	14,43	17,46	18,47	17,52	12,04	18,02	13,12	Cu material de aport din electrod
f	5,12	7,30	10,63	14,43	16,24	18,87	18,07	16,10	15,50	13,12	
g	5,12	9,15	12,54	14,43	17,14	17,54	17,52	15,33	17,52	13,12	
a	6,03	8,40	11,45	14,43	16,56	16,61	16,71	14,52	10,70	13,12	
d	3,70	7,30	9,43	14,43	16,56	17,81	17,95	12,34	15,41	13,12	
1	4,78	7,84	11,66	15,45	18,94	19,04	18,49	16,89	26,74	17,34	Fără metal de aport
2	4,24	7,14	7,88	12,55	18,14	18,90	17,84	16,59	25,24	13,19	
3	4,10	7,54	11,44	15,44	18,34	17,39	15,89	16,19	26,34	14,95	
5	4,24	10,04	14,44	17,91	18,14	18,36	18,04	16,19	26,27	13,19	

In figura 5.5.2 se prezintă variația coeficientului de dilatare termică liniară pentru epruvetele prelevate perpendicular la cusătura sudată, iar in figura 5.5.3 se arată același lucru pentru epruvetele prelevate paralel la cusătură.

Analizând valorile coeficientului de dilatare termică liniară pentru epruvetele prelevate perpendicular la cusătura sudată se constată următoarele:

- pentru temperaturile 100...300°C se constată dispersia cea mai mare a valorilor coeficientului α ;
 - de remarcat comportarea identică la temperatura de 400°C a tuturor epruvetelor (exceptie epruveta h) ;
 - domeniul temperaturilor 500-700°C este caracterizat prin dispersii relativ restrinse ale valorii coeficientului α ;
- Se pare că tensiunile aici fiind mai intense ca în cazul precedent, starea de tensiuni se elimină la temperaturi mai joase, ceea ce este cunoscut din teoria tratamentelor termice.
- la temperatura de 800°C se constată dispersii apreciabile în ceea ce privește valoarea coeficientului α ;

- de subliniat dispersia mai pronunțată a valorilor coeficientului α la epruvetele încălzite la 900°C ;

- de remarcat comportarea identică a tuturor epruvetelor analizate pentru temperatura de 1000°C

Analizând rezultatele obținute pe epruvetele prelevate perpendicular la axa cusăturii acestea sînt în măsură a evidenția influențele cauzate de neomogenitatea îmbinării sudate, a transformărilor din Z.I.T. cît și a tensiunilor remanente produse la sudare.

De asemenea va trebui să aibă în vedere proporția participării cusăturii la volumul epruvetei respective, ca și poziția acesteia față de axa cusăturii sudate. În tabelul 5.5.1. epruvetele sînt ordonate tocmai avînd în vedere criteriul enunțat, epruveta h, fără metalul de aport din cusătura sudată, iar celelalte cu diferite procente ale metalului din cusătura sudată.

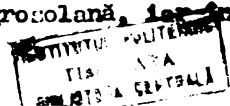
În figura 5.5.4. se analizează curbele dilatometrice ale metalului de bază în starea de livrare (proba E), a aceluiași oțel normalizat (proba C), a epruvetei h (fără metal al cusăturii) și a epruvetei executată exclusiv din metalul depus în electrozi Superbaz, cu diametrul de 4 mm, din care se deduc următoarele :

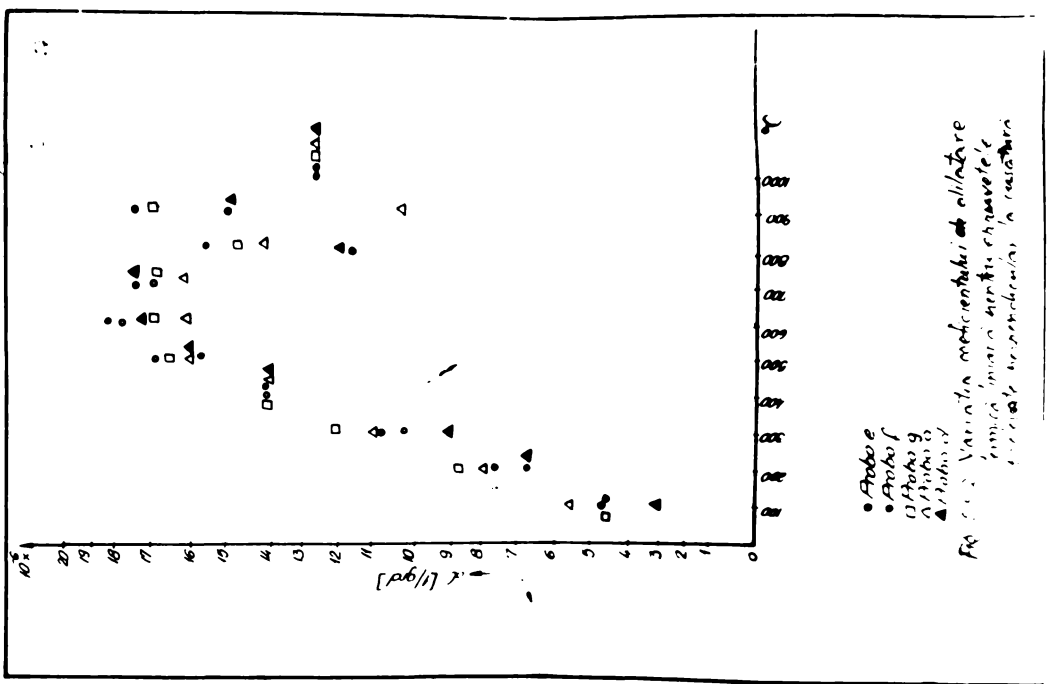
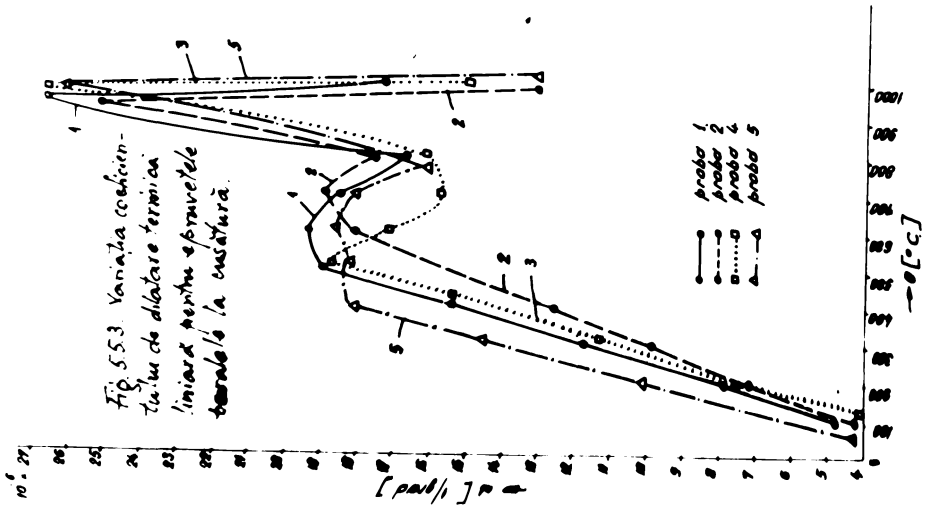
- pînă la temperatura de 300°C epruvetele analizate prezintă valori grupate ale coeficientului de dilatare termică liniară ;
- la temperaturile superioare celei de 300°C epruveta h prezintă creșteri mai pronunțate ale coeficientului α pînă la temperatura de 600°C , cînd are loc o convergență pronunțată a valorilor acestui coeficient pentru epruvetele h, C și E, situație care se menține în continuare la temperaturile superioare ;
- peste temperatura de 500°C curba dilatometrică a epruvetei executată din metalul depus cu electrozi Superbaz, menținînd aceeași alătură ca și curbele dilatometrice ale celorlalte epruvete analizate însă cu valori mult inferioare în comparație cu acestea.

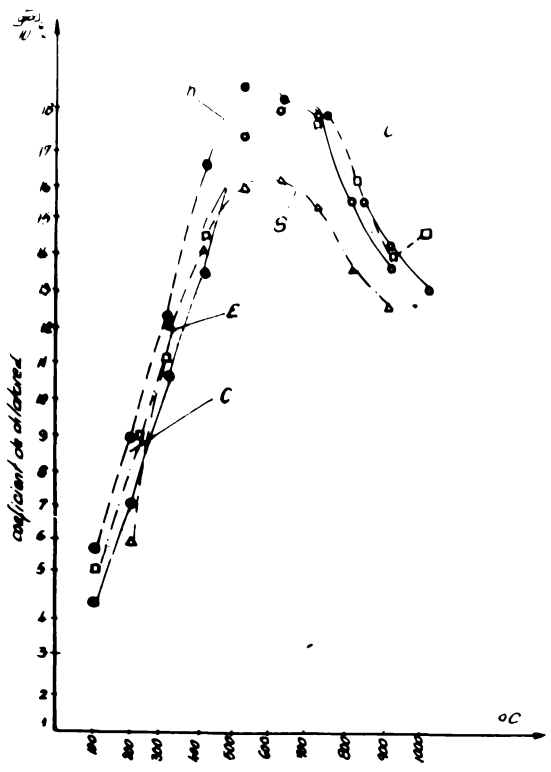
Analizînd cazul epruvetelor prelevate din proba sudată, cu axele paralele la cusătura sudată, ale căror curbe dilatometrice se prezintă în figura 5.5.3. se deduc următoarele :

- curbele epruvetelor executate prezintă aceeași alătură cu înclinații diferite, manifestate mai vizibil la temperaturile mai mari de 400°C , fenomen mai evident la epruveta 5 ;
- se constată valori foarte mari ale coeficientului de dilatare termică liniară la temperatura de 900°C , lucru întîlnit la toate epruvetele cercetate.

Structura epruvetelor 2 și 5 este poliedrică grosolană, iar în







- Proba E
- Proba h
- △—△ Electrozi superbozi (S)
- Proba C

Fig 554 Curbele dilatometrice ale probelor E (metalul de fază), C (oțel normalizat), h (epavetă fără metal de aport) și S (metal depus din electrozi).

cazul epruvetei 4 structura este în giruri și are o granulație mai fină.

Rezultă că epruvetele 2 și 5 au suferit influențe mai pronunțate datorită procesului de sudare, lucru ce a condus la creșterea granulației, ca urmare a recristalizării. De remarcat variația diferită a coeficientului α în cazul epruvetei 4, în comparație cu celelalte, în domeniul temperaturilor 500...800°C, lucru influențat de structura diferită a epruvetelor și de starea tensională provocată de structura grosolană.

În tabelul 5.5.2 se prezintă sintetic valoarea coeficientului pentru epruvetele prelevate din probe sudată, cu indicarea pentru fiecare domeniu al temperaturii valorile maxime medii și minime, ca și frecvența acestor valori.

Tabelul 5.5.2

Sinteze valorilor coeficientului
 $\alpha (x 10^{-6} \text{ grad})$

Temperatura (°C)	Probele		Epruvete la cusătura sudată			Epruvete la cusătura ra sudată			
	C	E	maxim	medie	minim	maxim epruv.	medie	minim	
100	5,54	4,55	6,03/1	5,12/3	3,70/1	6,03	4,78/1	4,24/2	4,10/1
200	9,14	7,30	9,15/1	8,15/2	7,30/2	9,15	10,04/1	7,54/2	7,14/1
300	11,40	10,92	12,54/1	11,36/2	9,47/1	12,45	14,44/1	11,44/2	7,88/1
400	14,70	13,63	-	14,43/5	-	16,45	17,91/1	15,44/2	12,55/1
500	17,44	17,45	17,46/2	16,56/3	15,24/1	18,89	18,94/1	18,34/1	18,14/2
600	18,40	18,25	18,87/2	17,54/2	16,61/1	18,75	19,04/1	-	17,39/1
700	17,64	18,07	18,07/2	17,52/2	16,71/1	18,07	18,49/1	17,84/2	15,89/1
800	16,34	15,72	16,10/1	15,33/2	12,04/2	15,63	16,89/1	16,59/1	16,19/2
900	14,11	13,90	18,02/2	15,41/2	10,70/1	14,34	26,74/2	26,27/2	25,24/1
1000	14,64	-	-	13,12/5	-	13,12	17,34/1	14,95/1	13,19/2

Obs: Notația cu funcție la numărător valoarea coeficientului α , iar la numitor numărul epruvetelor cu această valoare.

Metallul de bază, datorită procesului termic de sudare se comportă diferit, având în vedere câmpul termic și poziția zonei analizate față de cusătura sudată.

Pentru a avea o imagine a situației create prin procesul termic al sudării, comparativ cu cele existente în metallul de bază supus unor tratamente termice, care pot fi regăsite la proba sudată se vor analiza datele din tabelul 5.5.3.

În tabelul 5.5.3 se prezintă centralizat valorile coeficientului de dilatare termică liniară α pentru toate cazurile analizate.

Notațiile se mențin după cum s-a indicat.

Tabel 5.5.3

Temp °C	Valoarea coeficientului α ($\times 10^{-6}$)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
100	A			E	D, S														
			d		a, f, g, h														
				1, 2, 3, 4															
200					A	S	E		B, C				D						
							f, d	e, a, h, g											
							1, 2, 3, 4			S									
300								A		E	C	S	B			D			
									d	F	e, a, h, g								
								2			1, 4								
400												A	E, S, C		B	D			
													2		1, 4		S		
500																S	A, C, D	B	
																f, d, e, g	6		
																	4, 5, 6		
600																	S	B	A, C, D
																	a, 2, 4, e		
700																	S	B, C	A, D
																		a, 2, 4, f	
800													S		E	A, C, D	B		
														2, 4		a, g, f			
900													S	E	C	A, D	B		
																h, d, f			
1000														S	A	C	D		
																h, o, f, g, a, d			
																2, 5, 4			

Analizând datele furnizate de tabelul 5.5.3. se poate deduce că există o comportare diferită a materialului pe cele două direcții perpendiculare față de axa cusăturii sudate, constatându-se o anizotropie în ceea ce privește comportarea termică a oțelului. Din acest punct de vedere se pot evidenția cazurile epruvetelor prelevate din:

- probele supuse unor anumite tratamente termice ;
- probele sudate ;
- metalul depus din electrodul topit.

De remarcat că epruvetele 1,2,4 și 5 prezintă valori ale coeficientului α de 25 și $26 \cdot 10^{-6}$, care depășesc cadrul tabelului.

Analizând cazurile prezentate în tabelul 5.5.3. se poate observa de exemplu epruvetele prelevate din proba sudată a căror valoare a coeficientului de dilatare termică liniară se suprapune peste valorile aceluiași coeficient ale epruvetelor din probele tratate termic. Acest lucru este deosebit de important și oferă cazurile similare atât la metalul sudat, cât și la oțelul supus anumitor tratamente termice.

De exemplu cu excepția epruvetei 2 prelevată din metalul de bază, paralelă la cusătura sudată la temperatura de 300°C se comportă termic la fel cu epruveta din proba A, calitate.

În celelalte cazuri nu se întâlnesc identități cu valoarea coeficientului α al epruvetei din proba A, până la temperatura de 500°C Celsius. În domeniul temperaturilor $500 \dots 700^{\circ}\text{C}$ se constată o convergență a valorilor coeficientului α ale tuturor epruvetelor cercetate. La temperatura de 800 și în special la 900°C se manifestă iar o dispersie a valorii coeficientului α . La temperatura de 1000°C se constată iar o convergență a valorilor coeficientului α .

5.6. **Aprecieri asupra deformațiilor și a tensiunilor care rezultă datorită proceselor termice**

Experimental au fost determinate valorile coeficientului de dilatare termică liniară α pentru cazurile cercetate, respectiv ale oțelului încălzit și răcit în anumite condiții, care pot fi regăsite în timpul sudării prin topire cu arc ale acestuia.

De asemenea au fost stabilite valorile aceluiași coeficient pe epruvete prelevate perpendicular și paralel la cusătura sudată și care conțin sau nu elemente ale cusăturii.

Din literatura de specialitate au fost preluate valorile modului de elasticitate longitudinală E , funcție de temperatură, prezentate în tabelul 5.6.1 [28,44].

Din tabelul 5.6.1. rezultă unele diferențe între valorile modu-

Variația modului E cu temperatura

Temp. (°C)	20-200	300	400	500	600	Obs.
E kgf/mm ²	21500	18500	17500	16500	15500	88
Temp. (°C)	20	205	425	540	650	
E daN/mm ²	20500	18600	15500	13400	12400	44

lului E funcție de temperatură. Modulul de elasticitate, după cum rezultă din tabelul 5.6.1. este influențat la creșterea temperaturii, în sensul că valoarea acestuia scade odată cu creșterea acestuia. Modulul E este influențat în mică măsură de elementele de aliere ale oțelului, de tratamentele termice și de deformarea plastică la rece.

Din literatură se poate deduce variația coeficientului de dilatare termică liniară α pentru oțel, funcție de temperatură. În tabelul 5.1. se prezintă aceste valori, care indică creșterea coeficientului funcție de temperatură [88].

Comparând valorile din tabelul 5.1. cu acelea obținute experimental în cadrul cercetării și prezentate în tabelul 5.4.2. se constată unele diferențe, mai ales pentru temperaturile mai scăzute și valori mai apropiate în domeniul temperaturilor 300 și 400°C pentru anumite cazuri analizate (cum este cazul probelor E și C).

Diferențele constatate pot fi explicate prin stările tensionale diferite, de precizia determinării, dimensiunile epruvetel, etc.

Datorită alungirii, respectiv a dilatării oțelului sub acțiunea căldurii, se produc modificări dimensionale ale epruvetel.

Astfel alungirea Δl poate fi exprimată prin relația :

$$\Delta l = \alpha \cdot T \cdot l \quad (\text{mm}) \quad (5.6.1.)$$

unde:

α = coeficientul de dilatare termică liniară (1/grad) ;

T = temperatura (°C) ;

l = lungimea de referință (mm).

Tensiunea produsă datorită căldurii se exprimă prin relația :

$$\sigma = \alpha \cdot T \cdot E \quad (\text{daN/mm}^2) \quad (5.6.2.)$$

unde α și T au aceleași semnificații ca în relația (5.6.1.), iar E este modulul lui Young . .

Se constată că deformația este dependentă de lungimea de referință, inițială, exprimată prin lungimea segmentului respectiv.

În tabelul 5.6.2. se prezintă deformațiile care se pot produce la segmente cu lungimea inițială de 20, 40 și 100 mm, care au fost

Tabelul 5.6.2.

Deformațiile termice pentru lungimile de referință
20, 40 și 100 mm utilizate în extensometria mecanică

Temp. (°C)	Proba K			Proba F			Proba C			Proba D			Proba E		
	20	40	100	20	40	100	20	40	100	20	40	100	20	40	100
100	2,4	4,3	12,0	9,0	18	45	8,82	17,64	44,1	8,82	17,64	44,1	13,6	27,2	88
200	10,1	20,2	50,5	19,2	38,4	96	33	66	165	49	98	245	26,3	52,6	131,5
300	72,5	145	362,5	76,5	143	332,5	575	146	365	91	182	455	70	140	350
400	97,5	195	487,5	104	208	520	112	224	560	128	256	640	104	208	520
500	167,0	334	835	177	354	885	167	334	835	167	334	835	167	334	835
600	197,0	394	985	197	394	985	205	410	1025	207	414	1035	210	420	1050
700	250,0	500	1250	240	480	1400	240	480	1200	244	488	1220	245	490	1225
800	258	516	1290	275	546	1365	255	510	1275	257	514	1285	245	490	1225
900	265	530	1325	313	626	1590	250	500	1250	265	530	1325	258	516	1490
1000	280	560	1400	350	700	1750	235	470	1425	310	620	1550	-	-	-

utilizate în cadrul experimentărilor la extensometria mecanică, având în vedere coeficientul de dilatare termică liniară determinat pentru probele A, B, C, D, E și pentru anumite temperaturi. Se constată că pot fi obținute alungiri apreciabile de cca 1 % la temperatura de 600°C, respectiv 0,5 % la temperatura de 400°C, pentru segmentul de bază de 100 mm, se înțelege în cazul existenței posibilității de deformare liberă. Pentru a evidenția starea tensională ca rezultat al deformațiilor termice, în tabelul 5.6.3. se arată diferența valorilor coeficientului de dilatare termică liniară ale oțelului în starea de laminare (proba E) și ale probelor A, B, C, D, S la temperaturile respective. În tabelul 5.6.4. se prezintă același lucru, însă luând ca bază starea oțelului normalizat (proba C), și probele A, B, D, E, S, pentru a se evidenția efectul normalizării. În tabelul 5.6.5. se prezintă diferențele coeficientului α al epruvetelor din probele A, B, C, E și S, în comparație cu epruveta

din proba D. Se înțelege că din tabelele 5.4.3. - 5.4.5. pot fi ușor deduse stările tensionale rezultate ca urmare a aplicării tratamen-
telor termice respective, luându-se ca bază atât starea de livrare
a oțelului (după laminare), cât și aceea după normalizare, știut fi-
ind faptul că după laminare, ca după ori care operație tehnologică,
există o stare tensională a materialului.

Tabelul 5.5.3.

Diferențele coeficientului α la probele tratate
termic și metalul depus în comparație cu metalul
laminat (proba E)

a se vedea figura 5.4.2

Pro- ba	Temperatura °C								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
A	-3,05	-1,75	-2,40	-1,13	-0,06	+0,39	+0,17	+0,82	+1,14
B	+1,09	+2,50	+2,87	+2,77	+0,89	+0,39	-0,43	+1,82	+3,30
C	+0,099	+1,84	+0,48	+1,11	-0,01	+0,15	-0,43	+0,62	+0,21
D	+0,099	+5,34	+5,82	+3,67	-0,01	-0,41	-0,03	+0,82	+1,24
S	+1,45	-1,10	+1,38	+0,77	-1,45	-1,95	-2,57	-1,92	-1,10

Tabelul 5.6.4.

Diferențele coeficientului α la probele E, A, B, D și S
în comparație cu oțelul normalizat (proba C)

a se vedea figura 5.4.3

Pro- ba	Temperatura °C									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
E	-0,99	-1,84	-0,48	-1,11	+0,01	-0,15	+0,43	-0,62	-0,21	-
A	-4,04	-3,59	-2,88	-2,24	-0,05	+0,24	+0,80	+0,20	+0,93	-0,30
B	+0,10	+0,66	+2,39	+1,66	+0,90	+0,24	-	+1,20	+3,09	+3,20
D	-	+4,50	+5,34	+2,56	-	-0,56	-0,40	+0,20	+1,03	+1,20
S	+0,46	-2,94	+0,90	-0,34	-1,44	-2,20	-2,14	-2,54	-1,31	-1,54

Tratamentul de normalizare se aplică curent la materialele ca-
re au fost supuse unor operații de deformare plastică, printre altele
urmărind și reducerea stării de tensiune rezultată ca urmare a pro-
cesului de deformare plastică.

Deformația rezultă ca urmare a procesului termic Δl , care în
oricare caz reprezintă o dilatare, respectiv o alungire, și în
acest caz se poate considera că acesta este mereu pozitiv ($\Delta l > 0$).

Însă valoarea acestei alungiri este în fond nu numai efectul în-
călzirii, respectiv (Δl_0) ci și efectul stării de tensiuni al epru-
vetei, care poate fi tensiune de întindere (σ_t) sau tensiune de
comprimiune (σ_c). De aici rezultă pentru coeficientul de dilatare
termică liniară

$$\alpha = \Delta l = \Delta l_{\theta} \pm \Delta l_{\sigma} \quad (5.6.3)$$

adică deformația finală va fi suma algebrică a deformației termice propriuzisă (Δl_{θ}) și a celei provocată prin „ eliberarea ” tensiunilor interne din epruvetă datorită detensionării termice (Δl_{σ}).

Tabelul 5.6.5.

Diferențele coeficientului α ale probelor

A, B, C, E, S în comparație cu proba D

* se vedeș figura 5.4.4

Proba	Temperatura °C									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
A	-4,04	-8,09	-8,22	-4,80	-0,05	+0,80	+0,20	-	-0,10	-1,50
B	+0,10	-3,84	-2,95	-0,90	+0,90	+0,80	-0,40	+1,0	+2,06	+2,0
C	-	-4,50	-5,34	-2,56	-	+0,56	-0,40	-0,20	-1,03	-1,20
E	-0,99	-6,34	-5,82	-3,67	+0,01	+0,41	+0,03	-0,82	-1,24	-
S	+0,44	-7,44	-4,44	-2,90	-1,44	-1,64	-2,54	-2,54	-2,74	-2,74

Considerind că deformația termică Δl_{θ} este independentă de structură [44]* și pentru aceeași temperatură, rezultă că analizind cazul cu două epruvete din același material, însă care se găsesc în stări de tensiuni diferite (σ_1 și σ_2), avind în vedere procesele termice la care au fost supuse, rezultă pentru coeficienții α_1 și α_2 , ai celor două epruvete :

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \Delta l_{\theta} \pm \Delta l_{\sigma_1} \\ \alpha_2 &= \Delta l_{\theta} \pm \Delta l_{\sigma_2} \end{aligned} \quad (5.6.4)$$

sau :

$$\alpha_1 - \alpha_2 = |\Delta l_{\theta} \pm \Delta l_{\sigma_1}| - |\Delta l_{\theta} \pm \Delta l_{\sigma_2}|$$

$$\Delta \alpha = \alpha_1 - \alpha_2 = \pm \Delta l_{\sigma_1} \mp \Delta l_{\sigma_2} \quad (5.6.5)$$

În cazul în care $\alpha_1 = \alpha_2$, rezultă că $|\Delta l_{\sigma_1}| = |\Delta l_{\sigma_2}|$ sau aceste deformații sînt nule. În această situație fie că ne găsim în cazul particular, adică în valoare absolută stările tensionale provoacă aceeași deformație sau că starea de tensiune a devenit nulă, adică efectul căldurii a produs detensionarea completă a materialului din epruvete.

Pe baza relației (5.6.5) au fost întocmite tabelele 5.6.6 și 5.6.7. Diferențele din tabelele 5.6.3., 5.6.4. și 5.6.5. vor fi analizate pînă la 600°C, avind în vedere că în ceea ce privește starea de tensiuni, această temperatură este suficientă pentru cașurile analizate și pentru a evita punctul de transformare AC 1.

Folosind relația (5.6.2), modificată pentru a evidenția tensiunile remanente din material „ eliberate ” datorită procesului termic rezultă :

$$\Delta \sigma = \Delta \alpha \cdot E \cdot T \quad (5.6.6.)$$

* în domeniul de temperaturi cercetat de max. 600°C.

Valoarea $\Delta\alpha$ va fi preluată din figurile 5.4.2 - 5.4.4, se prezentind diferența coeficientului de dilatare termică liniară a două epruvete din același oțel și pentru același domeniu al temperaturii, însă supuse unor stări de tensiune diferite.

Valoarea modulului E pentru temperaturile respective vor fi luate din tabelul 5.6.1., însă cu valorile după Malisius 88, avind în vedere corespondența exactă a temperaturilor. În tabelul 5.6.6., se prezintă valoarea tensiunilor remanente evidențiate ca urmare a „ eliberării ” acestora prin procesul termic respectiv, luindu-se ca bază oțelul în starea de livrare (după laminare prin proba E) sau în starea după normalizare (proba C). Tensiunile sînt exprimate în (daN/mm^2) . În același tabel este analizată și epruveta executată nu mai din metalul depus din electrozi Superbaz, avind în vedere că la proba sudată va interveni și cusătura sudată.

Tabelul 5.6.6.

Valorile tensiunilor remanente în probele A, B,
C, E și S (daN/mm^2)

pe baza tabelelor 5.6.3, 5.6.4, 5.6.5 și a relației 5.6.6

Proba	Temperatura ($^{\circ}C$)						Față de proba
	100	200	300	400	500	600	
A	+ 6,56	+ 7,53	+13,32	+ 7,91	+ 0,5	- 3,63	E
	+ 8,69	+15,54	+15,98	+15,68	+ 0,41	- 2,23	C
	+ 8,69	+34,79	+45,62	+33,6	+ 0,42	-7,44	D
B	- 2,34	-10,75	-15,93	-19,39	- 7,39	+ 3,63	E
	- 0,22	- 2,84	-13,26	-11,62	- 7,47	- 2,23	C
	- 0,22	+16,51	+16,63	+ 6,3	- 7,47	- 7,44	D
C	- 2,13	- 7,91	- 2,66	- 7,77	+ 0,08	- 1,40	E
	-	+19,35	+29,58	+17,92	-	- 5,21	D
E	+ 2,13	+ 7,91	+ 2,66	+ 7,77	- 0,08	+ 1,40	C
	+ 2,13	+27,26	+32,30	+25,69	- 0,08	+ 3,81	D
S	- 3,12	+ 4,73	- 7,66	- 5,39	+ 12,04	+18,14	E
	- 0,99	+12,54	- 5,00	+ 2,38	+ 11,95	+20,46	C
	- 0,99	+31,99	+24,42	+20,3	+ 11,95	+15,25	D

Din tabelul 5.6.6. rezultă următoarele :

1 - Proba călită în apă (A) realizează detensionarea totală la $500^{\circ}C$, însă la temperatura de $300-400^{\circ}C$ sînt „ eliberate ” tensiuni remanente de întindere apreciabile. Se poate remarca starea tensionată ca rezultat al călirii în apă mai accentuată față de straturile lipsite de tensiuni (revenirea parțială, normalizarea și starea după laminare).

2 - In cazul probei (B) oălită în ulei, care prezintă structuri de transformare intermediare, tensiunile remanente nu mai sînt de întindere, lucru apreciabil, însă „ eliberarea ” acestora depășește temperatura de 600°C. De reținut faptul că aceste tensiuni se modifică dacă se analizează situația comparativ cu oțelul recoapt, detensionat. In acest caz domeniul de temperatură 400-500°C este acela în care tensiunile remanente se anulează;

- materialul în starea de livrare este detensionat la 500°C, comparativ și cu starea de normalizare, ca și în cazul recoacerii parțiale ;

- metalul depus din electrod prezintă o comportare mai diferită și mai puțin pregnantă în comparație cu cazurile analizate, lucru ce poate fi explicat prin starea de tensiune a cusăturii și a neomogenității acesteia.

In tabelul 5.6.7. se prezintă temperatura la care $\Delta\alpha = 0$, adică eficiența încălzirii în privința reducerii tensiunilor reziduale.

Tabelul 5.6.7.

Temperatura la care $\Delta\alpha = 0$
 Pe baza tabelului 5.6.3, 5.6.4, 5.6.5

Proba	Comparativ cu starea din proba		
	B	C	D
A	500	500	500
B	600 ... 700	700	400 ... 500
C	500	-	500
D	500	500	500
E	-	500	500
S	400 ... 500	400	-

Din tabelul 5.6.7. rezultă următoarele în legătură cu eficiența detensionării termice pe probe din oțel supuse unor tratamente termice :

- proba oălită în apă este detensionată în toate cazurile la 500°C ;

- proba oălită în ulei (transformări intermediare și cu structuri diferite), situație mai frecvent întâlnită în cazul sudării oțelurilor obișnuite, greu oălibile, prezintă un avantaj net, dacă oțelul ar fi prealabil recoapt pentru recristalizare, temperatura pentru detensionare fiind coborâtă de la cca. 600...700°C la 400..500°C. De remarcat că tratamentul de normalizare nu satisface scopul ;

- metalul depus din electrozi necesită o temperatură mai scă-

zută pentru detensionare, respectiv 400°C , avînd în vedere că prin depunerile succesive de straturi de metal topit acestea sînt supuse unor tratamente termice de detensionare termică, pentru o parte din secțiunea transversală a cusăturii sudată.

Pe baza datelor obținute experimental în ceea ce privește coeficientul α pentru oțelul în stare de livrare și după anumite tratamente termice și după determinarea analitică a tensiunilor eliberate se pot deduce anumite concluzii care să prezinte interes practic. Astfel în figura 5.6.1. se prezintă tensiunile obținute în cazul probei din OL 37 călit în apă în comparație cu oțelul în starea normalizată și după recoacerea incompletă (de recristalizare).

În figura 5.6.2. se arată același lucru pentru oțelul OL 37 călit în ulei, iar în figura 5.6.3. cazul oțelului în starea de livrare (după laminare) în comparație cu starea normalizată și recristalizată a aceluiași oțel.

Din aceste grafice se pot deduce nu numai nivelul tensiunilor dar și temperatura care detensionează oțelul, care în general este corespunzătoare la 500°C în cazurile cercetate.

În figura 5.6.4. se prezintă starea din oțelul depus din electrodul Superbaz și oțelul după laminare, după normalizare și după recristalizare.

În continuare cercetările au fost continuate pe epruvete din proba sudată, pentru a fi determinată starea de tensiune din diferite zone.

Pe baza valorilor coeficientului de dilatare termică liniară α ale epruvetelor prelevate din proba sudată, perpendicular și paralel la cusătura sudată, prezentate în tabelul 5.5.1. au fost stabilite diferențele acestora în comparație cu metalul în starea de livrare. În tabelul 5.6.8. pot fi urmărite aceste diferențe în comparație cu proba E. În tabelul 5.6.9. se prezintă același lucru avînd ca element de comparație cazul oțelului în starea normalizată (proba C) iar în tabelul 5.6.10. recoacerea de recristalizare (față de proba D). Tensiunile remanente care rezultă pe baza datelor furnizate din tabelul 5.6.8. - 5.6.10. ca și aplicînd relațiile (5.6.2) și (5.6.6) sînt prezentate în tabelul 5.6.11., față de probele E, C și D ale metalului de bază.

Valoarea modului de elasticitate E pentru anumite temperaturi au fost luate din tabelul 5.6.1., considerînd valorile furnizate de Malizins [88].

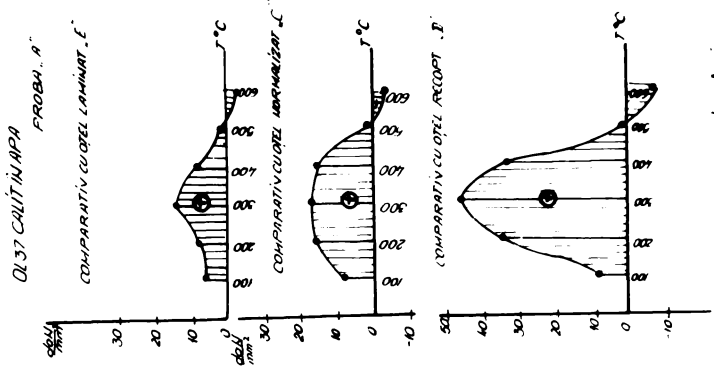
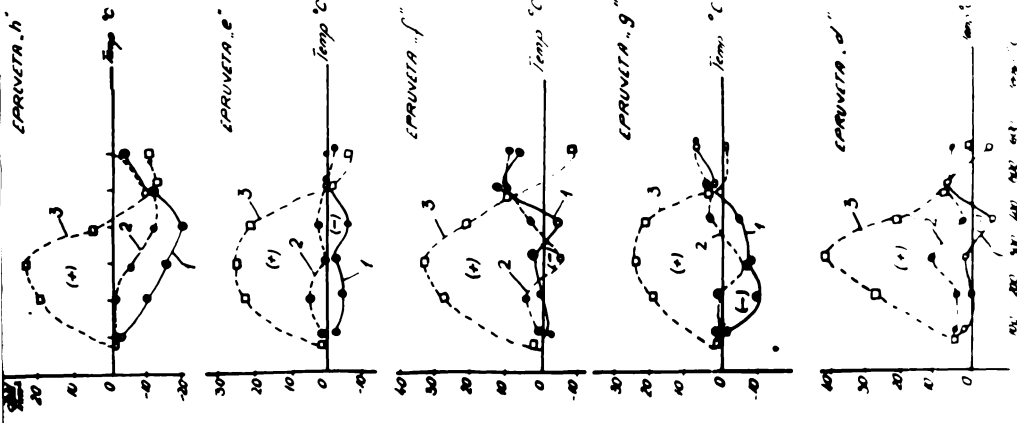


Fig. 561 Tensiunile din Proba A în comparație cu probele C și D

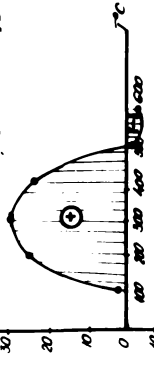
UL 37 LAMINAT „E”

COMPARATIV CU OTEL NORMALIZAT „C”



Fig. 5.6.2. Tensiunile din proba E în comparație cu probele C și D.

COMPARATIV CU OTEL RECUPER „D”



UL 37 CALIT ÎN ULEI

PROBA „B”

COMPARATIV CU OTEL LAMINAT „E”



COMPARATIV CU OTEL NORMALIZAT „C”

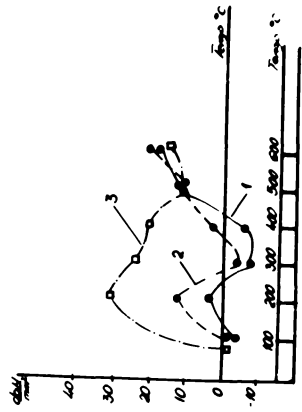


COMPARATIV CU OTEL RECUPER „D”



Fig. 5.6.3. Tensiunile din proba B în comparație cu probele E, C și D.

METAL DE PUS DIN ELECTRONI SUPERBARE

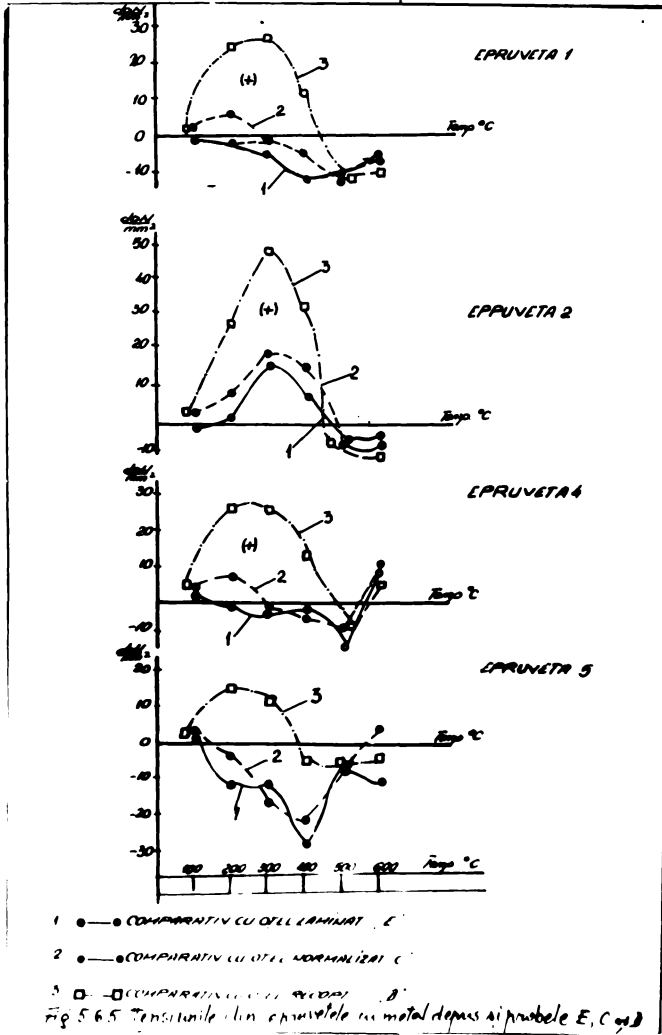


—●— COMPARATIV CU OTEL LAMINAT „E”

—○— COMPARATIV CU OTEL NORMALIZAT „C”

—□— COMPARATIV CU OTEL RECUPER „D”

Fig. 5.6.4. Tensiunile din proba S în comparație cu probele E, C și D.



După cum se poate deduce din tabelul 5.6.11. rezultă că ceea ce determină temperatura necesară detensionării este nivelul stării de tensiune inițial al materialului. Astfel în cazul epruvetei h, care nu conține elemente ale cusăturii, însă metalul este într-o stare mult tensionată datorită procesului de sudare, se impune ca tratamentul de detensionare să fie făcut la temperatură mai înaltă, respectiv peste 600°C.

Tabelul 5.6.8.

Stabilirea diferențelor $\Delta\alpha$ ale epruvetelor din proba sudată în comparație cu metalul de bază (E)

Epru- veta	Temperatura (°C)									Observații
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
h	+ 1,48	+ 1,85	+ 2,53	+ 3,02	+ 1,44	+ 0,50	-	- 0,09	+ 0,44	Fără metal de aport
e	+ 0,59	+ 0,85	+ 0,44	+ 0,80	+ 0,01	+ 0,22	- 0,55	- 3,68	+ 4,12	Cu metal de aport
f	+ 0,57	0	- 0,29	+ 0,80	- 1,21	+ 0,62	-	+ 0,38	+ 1,60	- " -
g	+ 0,57	+ 1,85	+ 1,62	+ 0,80	- 0,31	- 0,71	- 0,55	- 0,39	+ 3,62	- " -
a	+ 1,48	+ 1,10	+ 0,53	+ 0,80	- 0,89	- 1,64	- 1,36	- 1,20	- 3,20	- " -
d	- 0,85	0	- 0,49	+ 0,80	- 0,89	- 0,44	- 0,11	- 3,38	+ 1,52	- " -
l	+ 0,23	+ 0,54	+ 0,74	+ 1,82	+ 1,49	+ 0,79	+ 0,82	+ 1,17	+ 12,84	Fără metal de aport
2	+ 0,31	- 0,16	- 3,04	- 1,08	+ 0,69	+ 0,65	- 0,23	+ 0,87	+ 11,34	
4	- 0,45	+ 0,14	+ 0,52	+ 1,81	+ 0,89	- 0,86	- 2,18	+ 0,47	+ 12,44	
5	- 0,31	+ 2,74	+ 3,52	+ 4,28	+ 0,69	+ 0,11	- 0,03	+ 0,47	+ 12,37	

Sînt cazuri cînd diferența dintre starea de tensiune a probelor se realizează la temperaturi mai coborîte, cum este cazul epruvetelor f și d, la care fenomenul acesta se produce la 200°C.

Din tabelul 5.6.11., rezultă starea de tensiune al epruvetelor prelevate din proba sudată, în comparație cu materialul în starea de livrare, normalizat și parțial repect.

Pentru a evidenția mai bine comportarea oțelului din proba sudată, pe baza datelor experimentale obținute și determinarea analitică a tensiunilor în figura 5.6.5., se prezintă starea de tensiuni din epruvetele prelevate perpendicular și paralel la cusătura sudată, în comparație cu starea de tensiuni din oțelul de bază în stările caracteristice și anume în starea de livrare, după normalizare și după recristalizare.

Tabelul 5.6.9.

Diferențele Δα ale epruvetelor din proba sudată în comparație cu proba C normalizată

Epruveta	T e m p e r a t u r a (°C)										Observații
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
h	+ 0,49	+ 0,01	+ 1,05	+ 1,91	+ 1,45	+ 0,35	+ 0,45	- 0,71	+ 0,23	- 1,52	Fără metal de aport
e	- 0,40	- 0,99	- 0,04	- 0,31	+ 0,02	+ 0,07	- 0,12	- 4,30	+ 3,91	- 1,52	Cu metal de aport
f	- 0,42	- 1,84	- 0,77	- 0,31	- 1,20	+ 0,47	+ 0,43	- 0,24	+ 1,33	- 1,52	" "
g	+ 0,42	+ 0,01	+ 1,14	- 0,31	- 0,30	- 0,86	- 0,12	- 1,01	+ 1,22	- 1,52	" "
a	+ 0,49	+ 0,74	+ 0,05	- 0,31	- 0,88	- 1,79	- 0,93	- 1,82	- 3,41	- 1,52	" "
d	- 1,84	- 1,84	- 1,97	- 0,31	- 0,88	- 0,39	+ 0,32	- 4,00	+ 1,30	- 1,52	" "
1	- 0,76	- 1,30	+ 0,26	+ 0,71	+ 1,50	+ 0,04	+ 0,85	+ 0,55	+ 12,63	+ 2,70	Fără metal de aport
2	- 1,30	- 2,00	- 3,52	- 2,19	+ 0,70	+ 0,50	+ 0,20	+ 0,25	+ 11,13	- 1,45	
4	- 1,44	- 1,60	+ 0,04	+ 0,70	+ 0,90	- 1,01	- 1,75	- 0,15	+ 12,23	+ 0,31	
5	- 1,30	+ 0,20	+ 3,04	+ 3,17	+ 0,70	- 0,04	+ 0,49	- 0,15	+ 12,16	- 1,45	

Tabelul 5.6.10

Diferențele Δα ale epruvetelor din proba sudată în comparație cu proba D

Epruveta	T e m p e r a t u r a (°C)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
h	+ 0,49	- 4,49	- 4,29	- 4,38	+ 1,45	+ 1,11	+ 0,03	- 0,91	- 0,80	- 2,72
e	- 0,40	- 5,49	- 4,38	- 2,87	+ 0,02	+ 0,63	- 0,52	- 4,50	+ 3,12	- 2,72
f	- 0,42	- 6,34	- 6,11	- 2,87	- 1,20	+ 1,03	+ 0,03	- 0,44	+ 0,36	- 2,72
g	+ 0,49	- 4,49	- 4,29	- 2,87	+ 0,30	+ 0,10	- 1,21	- 1,21	+ 2,38	- 2,72
a	+ 0,49	- 5,24	- 5,29	- 2,87	- 0,08	- 1,23	- 1,33	- 4,44	- 4,44	- 2,72
d	- 1,84	- 6,34	- 7,31	- 2,87	- 0,88	- 0,03	- 0,08	- 4,20	+ 0,27	- 2,72
1	- 0,76	- 5,60	- 5,08	- 1,85	+ 1,50	+ 1,20	+ 0,45	+ 0,35	+ 11,60	+ 1,50
2	- 1,30	- 6,50	- 5,86	- 4,75	+ 0,70	+ 1,05	- 0,20	- 10,10	+ 10,10	- 2,65
4	- 1,44	- 6,10	- 4,70	- 1,86	+ 0,90	- 0,45	- 2,15	- 0,35	+ 11,20	- 1,11
5	- 1,30	- 3,60	- 2,30	+ 0,61	+ 0,70	+ 0,32	-	- 0,35	+ 11,13	- 2,65

Tabelul 5.6.11.

Stările de tensiune din proba sudată în
comparație cu materialul de bază în anu-
mite stări

Epru- veta	T E M P E R A T U R A (°C)						Față de proba
	100	200	300	400	500	600	
							daN/mm ²
h	- 3,18	- 10,88	- 14,04	- 21,14	- 11,15	- 4,65	E
	- 1,05	- 0,04	- 5,83	- 13,87	- 12,04	- 3,26	C
	- 1,05	+ 19,31	+ 23,81	+ 4,55	- 12,04	- 10,33	B
	- 1,27	- 3,66	- 2,44	- 5,60	- 0,08	- 2,05	E
e	+ 0,86	+ 4,26	+ 0,22	+ 2,17	+ 9,17	+ 0,65	C
	+ 0,86	+ 23,61	+ 24,31	+ 20,09	- 0,17	- 5,86	D
	- 1,23	-	+ 1,61	- 5,60	+ 10,04	+ 7,77	E
f	+ 0,90	+ 4,26	- 6,33	+ 2,17	+ 9,96	+ 8,00	C
	+ 0,90	+ 27,26	+ 33,91	+ 20,09	+ 9,96	+ 9,58	D
	- 1,23	- 10,88	- 8,99	- 5,60	+ 4,15	+ 6,60	E
g	+ 0,90	+ 0,04	- 8,99	+ 2,17	+ 2,49	+ 6,60	C
	+ 0,90	+ 19,31	+ 23,31	+ 20,09	+ 2,49	- 0,90	D
	- 3,18	- 4,73	- 2,94	- 5,60	+ 7,39	+ 15,25	E
a	- 1,05	+ 3,18	- 0,28	+ 2,17	+ 7,30	+ 14,86	C
	- 1,05	+ 22,53	+ 29,36	+ 20,09	+ 7,30	+ 11,44	D
	+ 1,85	-	+ 2,72	- 5,60	+ 7,39	- 4,09	E
d	+ 3,96	+ 3,96	+ 10,93	+ 2,17	+ 7,30	+ 5,49	C
	+ 3,96	+ 27,26	+ 40,57	+ 20,09	+ 7,30	+ 0,30	D
	- 0,49	- 2,32	- 4,11	- 12,74	- 10,43	- 7,35	E
1	+ 1,63	+ 5,59	- 1,44	- 4,97	- 12,45	- 5,92	C
	+ 1,63	+ 24,94	+ 27,97	+ 12,95	- 12,45	- 11,16	D
	- 0,67	+ 0,71	+ 16,87	+ 7,56	- 5,73	- 6,05	E
2	+ 2,79	+ 8,60	+ 19,54	+ 15,33	- 5,81	- 4,65	C
	+ 2,79	+ 27,95	+ 49,17	+ 33,25	- 5,91	- 9,86	D
	+ 0,97	- 0,60	- 2,89	- 1,27	- 7,39	+ 8,00	E
4	+ 3,10	+ 6,88	- 0,22	- 4,90	- 7,47	+ 9,39	C
	+ 3,10	+ 26,23	+ 26,09	+ 13,02	- 7,47	+ 4,19	D
	+ 0,67	- 11,78	- 11,54	- 29,96	- 5,73	- 10,23	E
5	+ 2,79	- 3,87	- 16,87	- 22,19	- 5,81	+ 0,36	C
	+ 2,79	+ 15,48	+ 12,77	- 4,27	- 5,81	- 4,84	D

Se constată alina asemănătoare a curbelor epruvetelor, după poziția acestora față de cusătura sudată, ca și particularitățile provenite în poziția acestora în proba sudată, respectiv nivelul tensiunilor din zona analizată.

Din această figură se deduce care stare a oțelului este mai avantajoasă, având în vedere atât mărimea tensiunilor, cât și sensul în care acționează. Astfel după sudarea oțelului rezultă tensiuni mari și de tracțiune, în comparație cu oțelul recopt după laminare.

Din cele prezentate în literatura de specialitate ca și din datele obținute experimental rezultă că recristalizarea unui oțel este dificil de a fi realizată, temperatura optimă depinzând de șase parametrii, dintre care mai dificil de a fi stabiliți sînt: mă-

rinea grăuntelui și după operația tehnologică, ca și de starea de tensiune înainte și după această tehnologie.

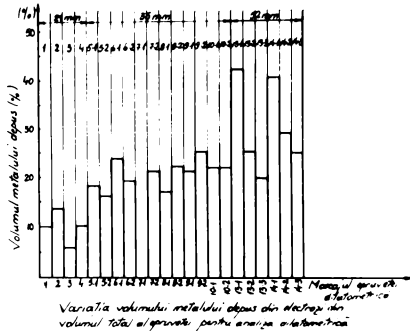
Epruveta 2 face excepție în sensul că în această zonă toate stările, tensiunile sînt de tracțiune. Din aceeași figură rezultă că încălzirea la 500°C constituie temperatura optimă pentru detensio - nare.

5.7. Analiza dilatometrică a probelor sudate din oțel marca OL 52-K cu grosimile de 21, 35 și 52 mm

Din probele sudate prezentate în cap.2 au fost prelevate epruve - te și pentru analiza dilatometrică [19,131].

În figura 5.7.1. se prezintă procentual volumul cusăturii din vo - lumul total al epruveței pentru analiza dilatometrică.

Figura 5.7.2. prezintă variația coeficientului α pentru metalul depus cu electrozi Superbaz B. Epruvetele din probele sudate au fost



prelevate după cum urmează:

- din probele sudate din tablă de 21 mm - o singură e - pruvetă din grosimea acesteia ;
- din probele sudate din tablă de 35 mm - cite două e - pruvete din grosimea acesteia ;
- din probele sudate din tablă de 52 mm cite trei epru - vete din grosimea probei.

Fig.5.7.1.

Procentul volumului metalului depus din electrozi din volumul total al epruveței ptr.analiza dilatometrică

prezintă variația coeficientului α pentru probele din oțel cu grosimea de 21 mm, în starea de livrare (curba U) și probele sudate (pro - bele 1 - 4).

Din figura 5.7.3. rezultă următoarele :

- pînă la temperatura de 600°C toate epruvetele din probele su - date prezintă valori ale coeficientului de dilatare termică α superio - rare metalului de bază în starea de livrare. De aici rezultă că tensi -

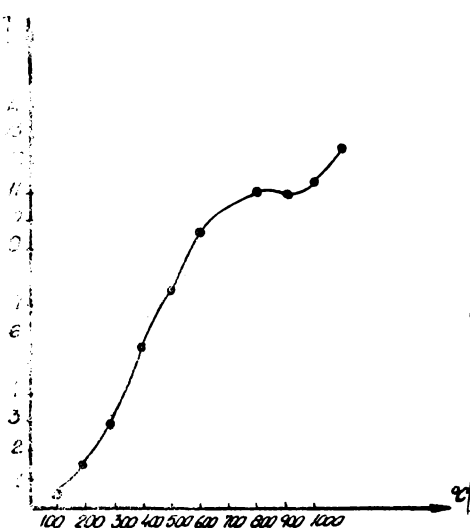


Fig. 5.7.2.
Variația coeficientului α
pentru metalul depus
din electrozi Superbaz B

unle remanente eliberate sînt de compresie ;

- pînă la temperatura de 400°C epruveta din proba sudată 1 are valorile coeficientului α mai apropiate de cele ale metalului de bază, iar epruveta din proba sudată 4 prezintă diferențele cele mai mari în comparație cu materialul de bază.

Fină la această temperatură se constată de asemenea valori grupate ale coeficientului α pentru epruvetele din probele sudate 1, 2 și 3, iar epruveta din proba sudată 4 prezintă valori mai dispersate, din care rezultă și valoarea corespunzătoare a tensiunilor ;

- la temperatura de 400°C are loc o convergență a valorilor coeficientului α , situație care este întărită și la 700°C (ACI) ;

- la temperatura de 900°C are loc din nou o dispersare a valorilor pentru coeficientul α și o altă poziționare a acestora față de oțelul de bază, curba acestuia situîndu-se între curbele epruvetelor din probele sudate ;

- nu se poate deduce influența metalului depus în cusătură asupra valorilor coeficientului α ;

- energia liniară și în special aceea utilizată la depunerea ultimelor straturi influențează asupra coeficientului de dilatare termică liniară, cum se constată la proba 4, la care energia liniară este mai mică în comparație cu celelalte probe.

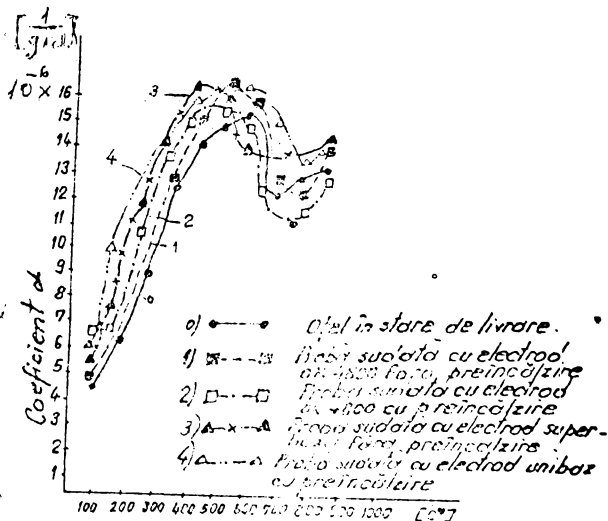


Fig. 5.7.3.
Curbele dilatometrice la probele
din oțel cu grosimea de 21 mm

Variația coeficientului α , ca valoare medie pentru probele din tabla cu grosimea de 35 mm se prezintă în figura 5.7.4. După cum

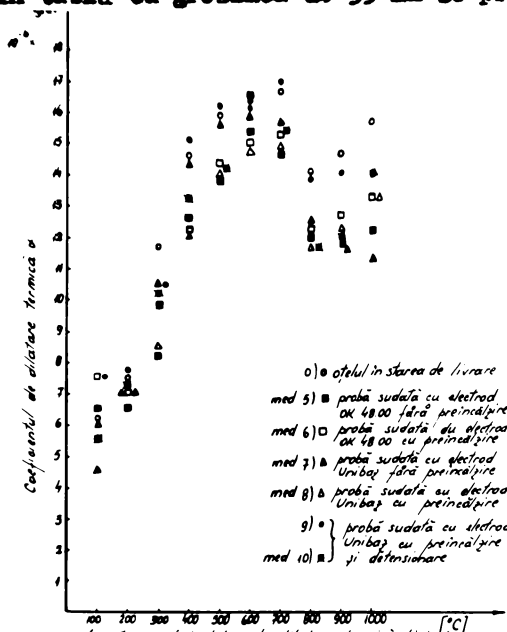


Fig. 5.7.4.

Variația coeficientului α la probele din oțel cu grosimea de 35 mm general inferioare în comparație cu metalul de bază. Astfel la 300°C toate epruvetele din probele sudate prezintă valori ale coeficientului, inferioare metalului de bază, ceea ce denotă că tensiunile remanente sînt de întindere.

La temperatura de 400 - 500°C și la 700°C se constată că epruvetele din proba 9 prezintă valori puțin superioare față de metalul de bază.

La temperatura de 600°C se constată o convergență a valcrilor pentru coeficientul α . De remarcă că pentru epruvetele din probele sudate se constată o grupare a valorilor coeficientului α , însă totuși la o distanță de cel al metalului de bază.

În tabelul 5.7.1. se prezintă diferența $\Delta\alpha$ a coeficientului al epruvetelor din probele sudate în comparație cu metalul de bază.

Se constată efectul pozitiv al preîncălzirii la 150°C în privința diminuirii diferenței $\Delta\alpha$ cu semnificația arătată.

De asemenea comparînd valorile $\Delta\alpha$ obținute în cazul probelor 9 și 10, rezultă influența energiei liniară utilizată, în sensul că aceasta este mai mică în cazul probei 10.

Din experimentările efectuate rezultă că la grosimea materialului de bază de 21 mm preîncălzirea metalului nu este necesară.

rezultă din fig. 5.7.4. epruvetele prelevate din probele sudate cu grosimea de 35 mm prezintă un volum mai mare de metal depus din electrod, în general cca 20 %, în comparație cu epruvetele din probele sudate din tabla cu grosimea de 21 mm, care prezintă un volum mai mic de metal depus.

Din figura 5.7.4. rezultă în general, dispersii mai mari ale coeficientului α , cu excepția temperaturii de 200°C, care nu are semnificație.

De asemenea coeficientul la

probele sudate are valori în

Tabelul 5.7.1.

Diferența $\Delta\alpha$ a sbruvetelor din probele sudate cu grosimea de 35 mm în comparație cu materialul de bază

Sbruveta	T										Observații
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
5.1-5.2	+ 0,27	- 1,00	- 3,50	- 2,05	- 2,00	- 1,00	- 2,00	- 2,15	- 2,93	- 3,60	Probe sudate cu electrod OK4800 fără preîncălzire
6.1-6.2	+ 1,27	- 0,45	- 1,85	- 2,45	- 1,60	- 1,55	- 1,35	- 1,95	- 2,13	- 2,55	Idem cu preîncălzire la 150°C
7.2.	- 1,75	- 0,50	- 1,25	- 0,35	- 0,23	- 0,50	- 0,75	- 1,65	- 2,98	- 2,50	Probe sudate cu electrod Unibaz fără preîncălzire
8.1-8.2	- 0,23	- 0,55	- 0,25	- 2,45	- 1,90	- 1,65	- 1,72	- 2,45	- 2,43	- 2,55	Idem cu preîncălzire la 150°C
9.2.	+ 1,27	+ 0,30	- 1,25	+ 0,45	+ 0,35	- 0,10	+ 0,95	- 0,15	- 0,68	-	Idem cu preîncălzire
10.1-10.2	- 0,75	- 0,12	- 1,52	- 1,35	- 1,70	+ 0,15	- 1,27	- 2,45	- 2,68	- 1,70	

53

Tabelul 5.7.2.

Valoarea tensiunilor ($\mu\text{aN/mm}^2$) eliberate din probele sudate cu grosimea de 35 mm

Sbruveta	T										Observații
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
5.1 + 5.2	+ 0,58	- 4,30	- 19,43	- 17,43	- 17,35	- 16,60	- 9,30	OK 48.00 fără preîncălzire			
6.1 + 6.2	- 2,72	- 1,94	- 10,27	- 17,15	- 13,28	- 11,66	OK 48.00 cu preîncălzire				
7.2	- 3,66	- 2,15	- 6,94	- 2,45	- 2,1	- 4,65	Unibaz fără preîncălzire				
8.1 + 8.2	- 0,92	- 2,37	- 1,75	- 17,15	- 15,77	- 15,35	Unibaz cu preîncălzire				
9.2	+ 2,70	+ 1,29	- 6,94	+ 3,15	+ 2,91	- 0,93	Unibaz cu preîncălzire și deten-				
10.1 + 10.2	- 1,58	- 0,52	- 8,44	- 9,45	- 14,11	+ 1,4	sionare				

Pe baza datelor din tabelul 5.7.1. și aplicând relația 5.6.6., valorile modului E fiind luate după Malisius[88], rezultă tensiunile reziduale din tabelul 5.7.2, eliberate prin încălzirile probelor până la 600°C .

Analizând valorile obținute în această direcție se pot deduce următoarele :

- ca mărime aceste tensiuni sînt mai mici, sub limita de curgere a metalului de bază ;
- tensiunile sînt de compresie în general și cele cu valori mai mari, ceea ce reprezintă un caz favorabil ;
- preîncălzirea metalului nu influențează în cazurile analizate, în ceea ce privește nivelul tensiunilor remanente ;
- detensionarea termică după sudare are un efect mai însemnat asupra nivelului de tensiune, în care caz se constată o eliberare completă a tensiunilor în domeniul de temperatură $500 \dots 600^{\circ}\text{C}$;
- regimul de sudare, respectiv vitezele de sudare mari, conduce la tensiuni remanente mai mari, cum este cazul probelor 10 în comparație cu proba 9 ;
- utilizarea electrozilor cu înveliș acid conduce în general la tensiuni ceva mai mari în comparație cu folosirea electrozilor bazici.

În figurile 5.7.5. - 5.7.7. se prezintă cazul epruvetelor din

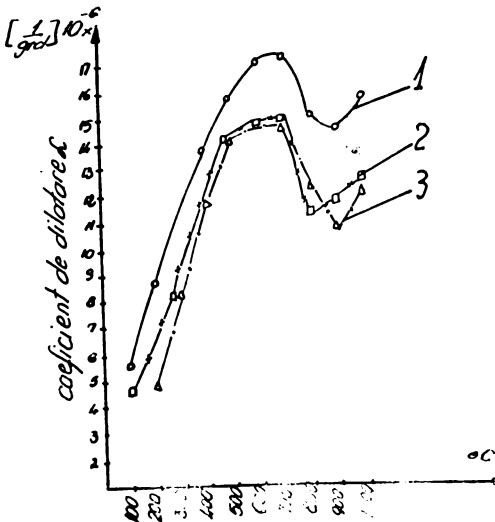


Fig. 5.7.5
Variatia coeficientului α din partea

tabla cu grosimea de 52 mm, prelevate din partea superioara, mediana și de la rădăcina cusăturii.

Se constată că epruvetele pentru analiza dilatometrică prelevate din probele

sudate din tabla cu grosimea de 52 mm se caracterizează prin următoarele :

- probele sudate cu electrozi Superbaz în toate cazurile prezintă valori ale coeficientului α mai mici

în comparație cu metalul de bază, ceea ce atestă tensiuni eliberate de întindere ;

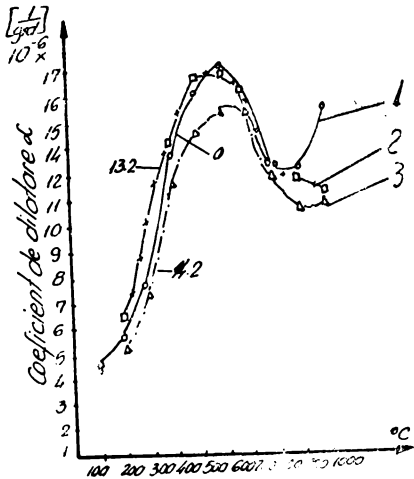
- probele sudate cu electrozi OK 48.00 prezintă în

comparație cu metalul de bază, valori ale coeficientului α mai mari, ceea ce atestă tensiuni reziduale de întindere ;

- probele sudate cu electrozi OK 48.00 prezintă în comparație cu metalul de bază, valori ale coeficientului α mai mici, ceea ce atestă tensiuni eliberate de întindere ;

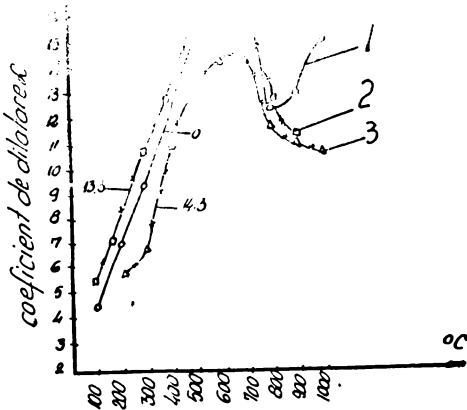
- probele sudate cu electrozi OK 48.00 prezintă în comparație cu metalul de bază, valori ale coeficientului α mai mari, ceea ce atestă tensiuni reziduale de întindere ;

cazul epruvetelor din zona superioară tensiunii eliberate de întin-



- 1) 0) —○— oțel în stare de livrare
 2) 132) □—□ probe sudate cu electrod OK
 3) 142) △—△ probe sudate cu electrod Superbaz

Fig. 5.7.6.
 Variația coeficientului α din partea mediană a cusăturii



- 1) 0) —○— oțel în stare de livrare
 2) 133) □—□ probe sudate cu electrod OK 48.00
 3) 143) △—△ probe sudate cu electrod Superbaz

Variația coeficientului α din rădăcina cusăturii

dere, avînd în vedere valori mai mici ale coeficientului α . În schimb în cazul epruvetelor prelevate din zona mediană și de la rădăcina cusăturii pînă la 500 și 600° Celsius tensiunile rămase sînt de compresiune. Se poate stabili o legătură între această comportare și energia liniară, în sensul că la primul strat energia liniară este mai mică în comparație cu proba sudată cu electrozii Superbaz.

În cazul epruvetelor prelevate din zona mediană și de la rădăcina cusăturii se manifestă o convergență a valorilor coeficientului de dilatare termică liniară pentru toate probele, ca urmare a faptului că după temperatura de 600°C curbele dilatometrice tind spre această convergență, ceea ce dovedește influența detensionării termice. În schimb după temperatura corespunzătoare punctului AC 3, se manifestă iar o divergență a valorilor coeficientului α , care atestă rolul transformării feritei în austenită.

În tabelul 5.7.3 se pre-

zintă diferențele dintre valorile coeficientului de dilatare termică liniară α a metalului de bază și ale probelor sudate din tabla de oțel marca OL 52-3k.

Tabelul 5.7.3.

Valorile $\Delta\alpha$ ale probelor sudate din OL 52-3k
52 mm ($\times 10^{-6}$)

Probele sudate cu electrod	Zona	T E M P E R A T U R A (°C)					
		100	200	300	400	500	600
OK 48.00	S	-0,9	-3,4	-2,6	-2,2	-1,6	-2,5
	M	+1,2	-	+1,1	+1,3	+0,8	+0,5
	R	-	+1,0	+2,4	+0,2	+0,5	-0,4
Superbaz	S	-	-3,9	-2,6	-2,2	-1,6	-2,7
	M	-	-1,4	-2,6	-1,7	-2,1	-1,2
	R	-	-0,6	-0,4	-1,3	-1,7	-1,9

S - epruvete prelevate din partea superioară a cusăturii ;

M - epruvete prelevate din partea mediană a cusăturii ;

R - epruvete prelevate din zona rădăcinii cusăturii.

În baza datelor din tabelul 5.7.3., aplicând relația 5.7.4., valorile modului E fiind luate după Malisius [88] rezultă tensiunile din tabelul 5.7.4., eliberate prin încălzirea lor pînă la 600°C.

Tabelul 5.7.4.

Valorile tensiunilor eliberate din probele sudate cu grosimea de 52 mm

Probele sudate cu electrod	Zona	T E M P E R A T U R A (°C)						din/mm ²
		100	200	300	400	500	600	
OK 48.00	S	-1,935	-14,62	-14,43	-15,64	-14,85	-23,55	
	M	+2,58	-	+6,10	+9,1	+6,6	+4,65	
	R	-	+4,30	+13,32	+1,4	+4,125	-3,72	
Superbaz	S	-	-18,74	-14,43	-15,4	-14,85	-22,01	
	M	-	-12,04	-14,43	-11,9	-17,33	-11,16	
	R	-	-2,58	-1,22	-9,1	-14,825	-17,67	

5.8. Cercetarea variației coeficientului de dilatare termică liniară α pentru probe din OL 52-4k sudate cap la cap în atmosferă de CO₂

Materialul cercetat a fost oțel marca OL 52-4k STAS 500-80 cu grosimea de 20 mm. Ca material de aport s-a utilizat sîrma S 11 M 2 S, STAS 1126-80 cuprată, cu diametrul de 1,2 mm.

Materialul de bază a fost analizat și încercat conform standardului și a corespuns în limitele impuse. Oțelului încercat la sensibilitatea de îmbătrînire a corespuns, avînd reziliența după îmbătrînire de peste 4 kgf/cm²

Restul probelor a fost pregătit în Y, cu unghiul de 90°. La proba 3 rostul a fost pregătit prin aşchiere şi oxidacetic la proba 4.

Sudarea probelor s-a făcut cu o instalaţie Micromatic TC-300 fabricaţie Arcus. Regimul de sudare a fost tensiunea arcului de 26 Volţi iar viteza de avans automat a sârmei de 7,12 m/min. Debitul de CO₂ a fost de 15-16 l/min. Viteza de sudare a fost de 0,189-0,3 cm/s la proba 3 şi de 0,187-0,341 la proba 4.

În figura 5.8.1. se prezintă variaţia elementului de bază din

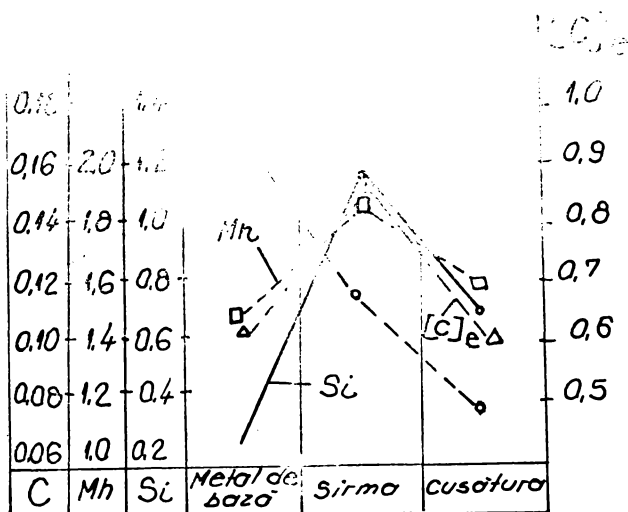


Fig. 5.8.1.

Variaţia elementelor în metalul de bază, electrod şi cusătura sudată

- ▲ variaţia conţinutului de carbon ;
- variaţia conţinutului de siliciu ;
- variaţia conţinutului de mangan ;
- △-----△ variaţia carbonului echivalent.

În tabelul 5.8.1. se prezintă energia de rupere (KV) a îmbinării sudate la temperaturile de încercare 20, -20 şi -40°C, epruvetele Charpy V având creştătura în Z.I.T.

Deşi se constată o diminuare a energiei de rupere a îmbinării sudate în comparaţie cu aceea a metalului de bază, valorile obţinute pot fi considerate bune, media fiind superioară cu 2,8 daJ.

În tabelul 5.8.2. se prezintă energia de rupere a metalului de bază din probele sudate, probele respective sînt mai mult influenţate de procesul termic de la sudare, ca şi de deformaţiile produse ca urmare a sudării.

cusătura, respectiv a elementelor componente metalul de bază, sîrmă-electrod şi cusătura, ca şi carbonul echivalent determinat prin relaţia lui Stout:

$$C_e = C + \frac{Mn}{4} + \frac{Si}{4} \quad (5.8.1)$$

Din probele executate au fost prelevate epruvete pentru încercarea la încoviere prin şoc, folosind epruvete Charpy V.

Tabelul 5.8.1.
Energia de rupere (KV) a îmbinării sudate

Proba	Temp.de încercare (°C)	Nr.de epruvete încercate	Energia de rupere daJ		
			minimă	maximă	medie
3	+ 20	3	7,1	12,4	9,5
	- 20	4	3,1	6,0	4,0
	- 40	4	2,1	4,1	3,2
4	+ 20	3	7,1	9,2	8,3
	- 20	3	4,1	4,4	4,2
	- 40	4	2,0	6,0	4,0

Tabelul 5.8.2.

Proba	Temp.de încercare (°C)	Poziția epruvetei	Energia de rupere daJ		
			minimă	maximă	medie
3	+20	3,2	4,9	7,4	5,8
		3,3	3,1	3,7	3,4
		3,2	3,1	3,7	4,3
	-20	3,3	1,4	2,4	1,9
		3,2	0,7	2,7	1,7
		3,3	1,3	1,8	1,5
4	+20	4,2	9,2	17,1	13,4
		4,3	2,8	2,9	2,9
		4,2	1,3	8,1	3,7
	-20	4,3	1,0	2,4	1,6
		4,2	2,2	8,1	4,6
		4,3	0,8	1,1	1,0

Din tabelul 5.8.2. în ceea ce privește energia de rupere la încovoire prin șoc(KV) a materialului de bază din proba sudată, în comparație cu aceea a materialului în starea de livrare, se constată o diminuare, mai evidentă la cele obținute pe direcția longitudinală. Dacă la aceasta se adaugă și creșterea rezistenței de rupere la tracțiune cu 106 ...124 %, în comparație cu valorile obținute inițial, se poate aprecia că se constată o diminuare a tenacității și plasticității materialului datorită sudării.

Zonele din care au fost prelevate epruvetele pentru încercarea la încovoire prin șoc, se află la distanța de peste 30 mm de la axa cusăturii sudate, ceea ce pledează că starea tensională și deformările produse au condus la îmbătrânirea materialului (efect tenso-mecanic).

Pe baza analizei dilatometrice executate au fost determinate

valorile coeficientului de dilatare termică liniară α pentru metalul de bază și a probelor sudate 3 și 4. În figura 5.8.2. se prezintă variația coeficientului α din care se reține :

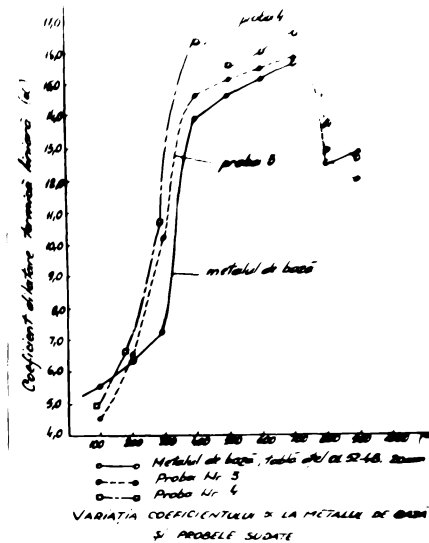


Fig. 5.8.2.
Curbele dilatometrice ale epruvetelor din probele sudate și metalul de bază

- la temperatura de 200°C are loc convergența valorilor pentru coeficientul α ;
- la temperatura de 300°C se constată cele mai mari diferențe ale acestui coeficient ;
- diferențe apreciabile se mențin și la temperatura de 400°C ;
- în domeniul temperaturilor 500 ... 700°C se obține o îngu-

tare a dispersiei coeficientului α , ca la 900°C acestea să prezinte o convergență;

- la temperatura de 1000°C se constată o ușoară împrăștiere a coeficientului α ;

- curba valorilor coeficientului ale metalului de bază se află sub curbele probelor sudate 3 și 4;

- proba 4 are valorile cele mai mari ale coeficientului α ;

In tabelul 5.8.4. se prezintă diferențele $\Delta\alpha$ ale coeficientului de dilatare termică pentru temperaturile respective ale probelor sudate, în comparație cu materialul de bază, ca și tensiunile reziduale eliberate.

Tabelul 5.8.4.

Temperatura (°C)	Valoarea $\Delta\alpha$ ($\times 10^{-6}$)		Tensiunile remanente (daN/mm^2)	
	proba 3	proba 4	proba 3	proba 4
100	- 0,9	- 0,6	+ 1,94	+ 1,29
200	+ 0,1	+ 0,2	- 0,43	- 0,86
300	+ 3,1	+ 3,5	-17,21	-19,425
400	+ 0,8	+ 3,1	- 5,6	-21,7
500	+ 0,3	+ 1,0	- 2,49	- 8,3
600	+ 0,4	+ 0,8	- 3,72	- 7,44

Tensiunile reziduale au fost determinate pe baza relației (5.6.6), luând valoarea modulului de elasticitate E după Malisius 88.

Din tabelul 5.8.4. rezultă :

- tensiunile remanente sînt de compresiune și au valoarea sub limita de curgere ;

- în cazul probei 3 temperatura de detensionare la 300°C produce o relaxare importantă a materialului, iar la proba 4 același lucru este valabil pentru temperatura de 400°C ;

- încălzirile pînă la 600°C nu conduc la completa relaxare a materialului.

5.9. Concluzii

Analiza termică diferențială este o metodă utilă obținîndu-se în primul rînd care este temperatura optimă pentru detensionarea termică a pieselor sudate.

Se înțelege că fiecare îmbinare sudată constituie un caz în sine în ceea ce privește nivelul tensiunilor care rezultă, în această privință regimul de sudare și modul în care se realizează efectiv cusătura sudată va influența în cele din urmă asupra mărimii și sen-

sului de acționare al tensiunilor remanente.

După sinteza experimentărilor proprii efectuate în cazuri diferite se deduce că analiza dilatometrică permite să se facă aprecieri și măsurări cantitative cu privire la valoarea tensiunilor remanente și a sensului de acționare al acestora.

Se apreciază că prin prelucrările necesare prelevării epruvetelor, necesare analizei dilatometrice, în cazul experimentărilor efectuate având dimensiunile $\varnothing 12 \times 65$ mm, (dimensiuni care diferă funcție de aparatul utilizat) nivelul tensiunilor remanente de ordinul I este influențat, sub aspectul reducerii acestora prin operația de prelevare a epruvetelor din îmbinarea sudată, ca și prin modificările provocate prin procesul de așchiere al acestora.

Din această cauză se apreciază că în mod deosebit prin analiza dilatometrică sînt evidențiate în mai mare măsură tensiunile remanente de ordinul II și III.

La fiecare probă sudată la care au fost efectuate analize dilatometrice au fost corelate rezultatele obținute prin această determinare, diferențele coeficientului de dilatare termică liniară față de metalul de bază pe domenii ale temperaturii.

Cercetările s-au referit și la utilizarea unor electrozi diferiți, ca înveliș și ca fabricație pentru a se urmări și influența metalului de aport în ceea ce privește caracterizarea îmbinării sudate.

De asemenea s-a experimentat și a rezultat avantajele în ceea ce privește sudarea în CO_2 și sub aspectul tensiunilor remanente.

Astfel se pot concluziona următoarele :

- la probele sudate din oțel cu grosimea de 21 mm preîncălzirea nu este absolut necesară, deși tensiunile remanente sînt mai mici în cazul probelor sudate cu preîncălzire ;
- folosirea electrozilor cu înveliș acid nu este indicată sub aspectul tensiunilor remanente, în sensul că acestea prezintă valori superioare în comparație cu electrozii bazici. Aceștia din urmă conduc la tensiuni remanente de compresiune care sînt avantajose ;
- la sudarea tablelor cu grosimea de 21 mm detensionarea la temperatura de $600^\circ C$ este acoperitoare ;
- la sudarea tablelor cu grosimea de 35 mm preîncălzirea este obligatorie, iar pentru diminuarea tensiunilor remanente este indicat tratamentul termic de normalizare, detensionare în jurul temperaturii de $600^\circ C$ nefiind eficientă ;

- depunerea straturilor din electrod cu diametrul de 3 mm. La suprafața cusăturii deși conduce la structuri grosiere, tip dendritic în aceste straturi, are un efect de normalizare a structurii metalului depus în straturile anterioare. Aceleași lucruri pozitive s-a constatat și prin operația de completare la rădăcina cusăturii.

Aceste fenomene nu s-au evidențiat în cazul cercetării pe epruvete prelevate din zonele distincte ale cusăturii U realizată la probele sudate din table cu grosimea de 52 mm.

Acest fenomen nu este evident în cazul cusăturilor realizate cu rostul în X.

În cazul analizei diametrice la epruvetele prelevate perpendicular pe secțiune, analiza stării de tensiune se referă global la întreaga lamină sudată, care conține elementele distincte ale acesteia, cu participarea în proporții diferite ale cusăturii sudate.

Din acest punct de vedere utilizarea ultrasonoanelor prezintă avantajul că este o metodă nedistructivă și permite o cercetare selectivă a diferitelor zone ale laminării sudate, pentru a evidenția influența procesului de sudare asupra neuniformității.

6. ANALIZA MODIFICĂRII CARACTERISTICILOR FIZICE ȘI MECANICE DATORITA PROCESULUI DE SUDARE PRIN FO- LOSIREA ENERGIEI ULTRASUNETELOR

Datorită procesului de sudare se produc în material deranja-
mente ale rețelei cristaline, care au fost evidențiate cu ajutorul
roentgen-structurii pe un volum restrâns de material și cu o tehni-
că complicată.

Folosind energia ultrasunetelor, respectiv un montaj bazat pe
un defectoscop uzual, pot fi determinate vitezele de propagare ale
undelor longitudinale și transversale, cu ajutorul cărora pot fi
determinate constantele elastice ale materialelor [8,15,20,129,135].

Pe baza literaturii și a propriei experiențe s-a urmărit a se
evidenția situația creată datorită fenomenelor care însoțesc proce-
sul de sudare, prin analiza parametrilor care definesc propagarea
ultrasunetelor în material în stările create prin:

- deformarea plastică pe epruvete supuse la întindere ;
- probe supuse unor cicluri termice, încluzite la anumite tem-
peraturi și răcire efectuată cu anumite viteze de răcire;
- probe sudate.

Rezultatele obținute în aceste stări ale materialului sînt
comparate cu oțelul în starea de livrare.

6.1. Determinarea constantelor elastice ale materialelor cu ajutorul energiei ultrasunetelor

În ultima vreme cercetarea în domeniul plastic a devenit de
actualitate, cu aplicarea directă în industrie, cu scopul de a în-
tregi cunoștințele cu privire la folosirea materialelor.

Mai mult la proiectarea elementelor de mașini, se are în vede-
re și domeniul plastic, în locul celui elastic, acceptat unanim în
trecut. În acest caz trebuie să se aibă în vedere că trebuie deter-
minate efectiv, pentru fiecare grad de deformare plastică, constan-
tele plastice ale materialelor [44].

Una din metodele nedistructive pentru determinarea experimen-
tală a modulului longitudinal (E_p) și transversal (G_p) în domeniul
plastic, funcție de deformație și de starea de tensiune corespunză-
toare este bazată pe utilizarea energiei ultrasunetelor.

Este cunoscut din literatura de specialitate că prin determi-
narea vitezelor de propagare longitudinală (v_L) și transversală (v_T)
ale fascicului ultrasonic, care străbate un material pot fi de-

terminate o serie de proprietăți fizice ale acestuia. Pe lângă faptul că metoda este nedistructivă aceasta permite și folosirea defectoscopelor cu ultrasunete [82]. Au fost determinate constantele fizice ale materialelor în stare nedeformată [8] și în cazul sollicitării oțelului în starea deformării plastice [15, 20, 129, 135, 171, 172, 170].

Experimentările au fost executate cu aparatul tip USIP 10, fabricație Krautkramer, folosind montajul din fig. 6.1.1.

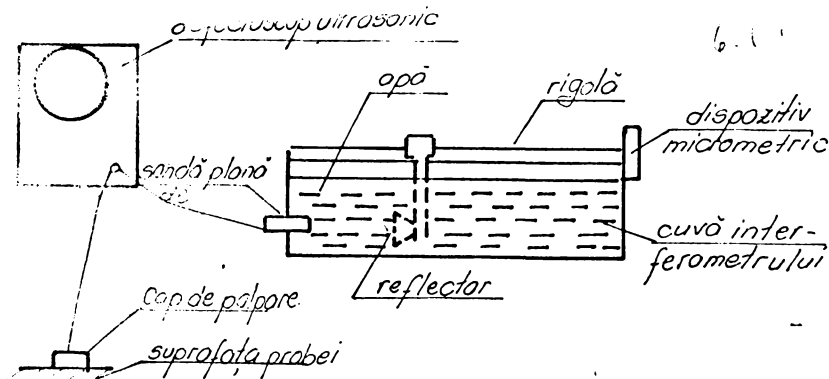


Fig. 6.1.1.
 Montajul ptr. măsurarea vitezelor de propagare ale ultrasunetelor în diverse materiale

Au fost utilizate capete de palpore normale cu cuarț pentru undele longitudinale, fără protecție de 4 și 6 MHz (Q 4 și Q 6) și altele cu cuarț Y pentru undele transversale cu frecvența de 4 MHz (Q 4 Y). După cum rezultă din fig. 6.1.1. s-a utilizat interferometrul pentru determinarea vitezelor de propagare ale ultrasunetelor.

Probele au fost prelevate din tablă de oțel OL 37 cu grosimea de 12 mm, având forma și dimensiunea epruvetelor de tracțiune conform STAS 200-76. Epruvetele au fost supuse la întindere, deformațiile fiind măsurate prin extensometria mecanică, folosindu-se segmente cu baza de 100 mm. Deformațiile permanente ale epruvetelor au fost de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 %.

Suprafața epruvetelor a fost rectificată pentru a se asigura condiții identice de acuplare, rugozitatea fiind $R_a = 0,6$ (clasa 0,4... 0,8). Determinarea vitezei de propagare a undelor s-a executat folosind metoda impuls-ecou de control, cu ecouri multiple.

Determinarea constantelor fizice funcție de viteza de propagare a undelor ultrasonice longitudinale (v_l), respectiv a celor trans-

versale(v_T) se realizează prin relațiile :

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} v_L^2 - v_T^2}{v_L^2 - v_T^2} \quad (6.1.1)$$

$$\rho = \rho \cdot v_T^2 \quad (N/m^2 \cdot s^2) \quad (6.1.2)$$

$$E = 4 \cdot \rho \cdot \frac{\frac{3}{4} v_L^2 - v_T^2}{\left(\frac{v_L}{v_T}\right)^2 - 1} \quad (N/m^2) \quad (6.1.3)$$

unde:

μ = constanta lui Poisson ;

v_L, v_T = vitezele ultrasunetelor(m/s) ;

ρ = densitatea materialului de cercetat (kg/m^3) ;

G = modulul de elasticitate transversal ;

E = modulul de elasticitate longitudinal.

Pentru a determina vitezele necunoscute de propagare ale fasciculului ultrasonic care străbate un material cu o anumită grosime, aceasta se raportează la o grosime determinată a unui material, cu viteza de propagare cunoscută a ultrasunetelor.

Bineînțeles că totul se raportează la același timp în care ultrasunetele trec prin ambele materiale. In cazul analizat ca material cu viteza cunoscută a fost apa, care la 20°C are viteza de propagare a ultrasunetelor de 1483,1 m/s. In cazul temperaturilor diferite de temperatura de referință, pentru fiecare grad se scade la temperaturile sub 20°C, respectiv se însușează la cele care depășesc această temperatură, gradientul :

$$\frac{v}{t} = 2,5 \quad m/s \quad (6.1.4)$$

In timpul măsurărilor temperatura apei din interferometru a fost de 18°C, deci ținând seama de coeficientul de temperatură, viteza de propagare a ultrasunetelor în apă este 1478,1 m/s.

După cum se observă din fig.6.1.1., ultrasunetele emise de sonda normală(8) de imersie se propagă în apa din interferometru (2), coloana de apă fiind limitată de poziția reflectorului metalic (6) care poate fi deplasat manual printr-un dispozitiv micrometric (4) cu o precizie de 0,01 mm. Impulsul dat de coloana de apă se suprapune peste ecoul sau după caz pe unul din ecurile multiple

corespunzătoare grosimii materialului de analizat. Pentru aceasta se modifică lungimea coloanei de apă cu ajutorul mecanismului grosier, respectiv fin al interferometrului. La momentul oportun se constată o modificare apreciabilă a formei impulsului. În acest moment se citește pe rigla gradată a interferometrului 3 lungimea coloanei de apă determinată de poziția reflectorului.

Cunoscându-se grosimea pieței cercetate, viteza necunoscută (v_x) de propagare a ultrasunetelor va fi determinată conform relației :

$$v_x = \frac{v_a \cdot d_x \cdot n}{d_a} \quad (6.1.5)$$

în care:

v_a = viteza de propagare a ultrasunetelor în apă (m/s) ;

d_x = grosimea materialului cu viteza de propagare a ultrasunetelor necunoscută ;

n = numărul de ecouri succesive luate în considerare cores-punzătoare unui multiplu de grosimi ale materialului res-pectiv ;

d_a = lungimea coloanei de apă din interferometru determinată de poziția reflectorului .

Măsurarea lungimilor s-a făcut cu precizie de 0,01 mm. Determinarea experimentală a vitezelor de propagare ale undelor ultrasonice longitudinale și transversale, ca și valoarea constantelor μ , E și G pentru probele deformată plastic se prezintă în tabelul 6.1.1.

6.2. Cercetări privind determinarea parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor în probele tratate termic

Din tablă de oțel marca OL 37 STAS 500-80 și cu grosimea de 15 mm au fost prelevate probe cu dimensiunile 60 x 90 mm, care au fost supuse unor tratamente termice, executate la anumite temperaturi de încălzire și răcire în medii diferite, astfel încât să se realizeze anumite viteze de răcire. În acest scop au fost utilizate aceleași probe ca cele folosite la analiza dilatometrică și tratamentele termice aplicate sînt prezentate în tabelul 6.2.1.

S-a avut în vedere ca să se urmărească consecințele încălzirii și răcirii probelor de oțel cu regimuri diferite, astfel să se urmărească efectul acestor parametri în apropierea punctelor AC_1 și AC_2 , pentru a fi în măsură de a cerceta modificările provocate în

metalul care a suferit transformări în stare solidă și în domeniul plastic de deformare.

Parametrii care definesc propagarea undelor ultrasonice în probele tratate termic au fost determinați cu aparatul tip USIP 10 fabricație Krautkramer în următoarele condiții :

- utilizarea capului de palpăre miniatură tip MWB 45, cu emițerea fascicului ultrasonic sub unghiul de 45° ;
- asigurarea condițiilor de acoplare identice prin rectificarea suprafeței probelor, astfel să fie asigurată rugozitatea $Ra = 0,6$ (clasa 0,4...0,8) STAS 5730-75. Ca mediu de acoplare s-a utilizat uleiul mineral.

Parametrii urmăriți la probele cercetate au fost:

- determinarea vitezei transversale de propagare a ultrasunetelor ;
- amplificarea necesară pentru a menține constantă amplitudinea de 70 mm a ecoului de control.

Pentru ca determinările efectuate să ofere rezultate cât mai comparabile, capul de palpăre MNB 45 a fost amplasat ca în figura 6.2.1. Drumul parcurs de fascicului ultrasonic în probele tratate

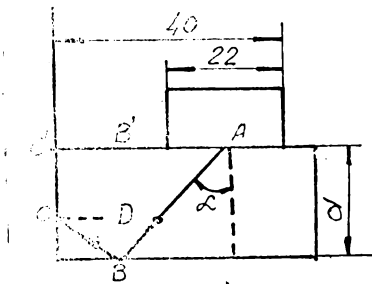


Fig.6.2.1.
Modul de așezare al capului de palpăre și drumul ultrasunetelor în probă

termic experimental reprezintă suma segmentelor $AB + BC$. Acesta a fost determinat analitic, măsurându-se grosimea „d” a probei și considerând constantă valoarea unghiului $\alpha = 45^\circ$. În tabelul 6.2.2. se prezintă mărimea drumului parcurs de fascicului ultrasonic determinată analitic pentru a mări precizia determinării, avându-se în vedere că aparatul folosit are valoarea cea mai mică a unei diviziuni de 1 mm pentru a măsura distanța parcursă de ultrasunete în material.

Aparatul a fost reglat pentru domeniul de măsură de 50 mm, acoperitor pentru drumul parcurs de ultrasunete în material.

Tabelul 6.2.2.

Drumul parcurs de fascicului ultrasonic în probe

Proba	6.29	6.1	6.2	6.3	6.11	6.12	6.13	6.15	6.16	6.17
Grosi- mm	14,73	14,17	14,06	14,24	14,18	14,23	14,22	14,07	14,23	14,29
(AB+BC) mm	41,01	41,01	41,02	41,01	41,00	41,00	41,01	41,01	41,02	41,00

Tabelul 6.1.1.

Determinarea vitezelor ultrasunetelor și a constantelor probelor deformate

Nr. Grup- epurarea vetă	Defor- mare (%)	Frec- ven- ta (MHz)	Viteza longitudinală		Viteza transversală		Constante				
			Nr. eco- uri	Distanța interfi. uri	Nr. eco- uri	Distanța interfi. uri					
1.	11,09	0,1	4	10,81	6060,2	2	10,27	3192,7	0,305	2,1 · 10 ⁶	8,08 · 10 ⁵
2.	11,09	0,2	4	10,87	6030,6	2	10,18	3222,3	0,31	2,13 · 10 ⁶	8,04 · 10 ⁵
3.	11,09	0,3	4	10,76	6089,7	2	10,78	6075,0	0,286	2,2 · 10 ⁶	8,5 · 10 ⁵
4.	11,11	0,4	4	10,97	5971,5	2	10,93	5971,5	0,271	2,17 · 10 ⁶	8,55 · 10 ⁵
5.	10,79	0,5	4	10,93	6001,1	2	10,93	6001,1	0,319	2,2 · 10 ⁶	8,33 · 10 ⁵
7.	10,98	1,0	4	11,15	5882,8	9	11,15	5960,2	0,291	2,1 · 10 ⁶	8,04 · 10 ⁵
8.	10,82	2,0	4	10,55	6391,5	2	10,54	6391,5	0,3	2,08 · 10 ⁶	8,0 · 10 ⁵
			4	11,00	5897,6	2	11,00	5897,6			
			4	10,93	5927,2	2	10,93	5927,2			
			4	10,76	5941,9	2	10,76	5941,9			
			4	10,80	5912,4	2	10,80	5912,4			
			4	10,73	6045,4	2	10,73	6045,4			

108

Tabelul 6.2.1.

Probele analizate cu ultrasunete

Mediul de răcire	Starea de li- vrare	ULEI												1000 repetat
		A E R			U L E I			A P A			1000 repetat			
Temperatura de încălzire (°C)		700	800	900	1000	700	800	900	1000	700	800	900	1000	1000 repetat
Proba	6,29	6,8	6,15	6,11	6,1	6,7	6,17	6,13	6,3	6,6	6,16	6,12	6,2	6,5
Conținutul de apă	5	4/5	7/8	7/8	7/8	7/8	5	5	5	5	5	5/6	6	5/6
duritate HV	6	15	2	18	19	10	16	18	24	16	60	6	148	6

Continuare tabel 6.2.2.

Proba	6.8	6.6	6.7	6.5	6.9
Grosimea	14,29	14,52	14,53	13,65	13,04
d mm					
(AB+BC)	41,00	41,01	40,99	41,02	41,01
mm					

Pentru caracterizarea oțelului în probele analizate au fost efectuate următoarele determinări :

- analiza structurală ;
- mărimea grăuntelui ;
- duritatea Vickers.

Analiza structurală s-a făcut pe probe pregătite conform STAS 4203-80, atacul fiind executat cu nital 5 %.

Punerea în evidență și determinarea microscopică a mărimii grăuntelui s-a efectuat conform STAS 5490-80.

Duritatea a fost determinată după metoda Vickers, conform STAS 492-78, cu sarcina de 300 N.S-a utilizat această metodă pentru a pune în evidență variația de duritate produsă ca urmare a tratamentului termic executat în anumite condiții.

Rezultatele obținute au fost comparate cu caracteristicile tehnice ale oțelului în starea de livrare (proba marcată cu 6.29). Structura oțelului în starea de livrare indică că după laminare tabla nu a fost supusă unui tratament termic de normalizare, structura fiind lamelară și neomogenă.

Au fost analizate valorile pentru viteza transversală a ultrasunetelor (v_T), duritatea Vickers, ca valoare și frecvență, ca și modulele longitudinale și transversale pentru fiecare probă.

Modulul transversal (G) s-a determinat pe baza vitezei transversale (v_T). Modulul longitudinal (E) a rezultat analitic pe baza relației :

$$E = 2 G (1 + \mu) \quad (6.2.1)$$

unde G a fost determinat așa cum s-a arătat la cap.6.1 și $\mu = 0,33$ (coeficientul lui Poisson).

În figura 6.2.2., se prezintă procentual reducerea vitezei transversale la probele tratate termic, avînd la bază viteza transversală a oțelului în starea de livrare. De asemenea tot procentual se arată creșterea sau micșorarea amplificării, pentru a menține ecoul de control cu amplitudine maximă, avînd în vedere amplificarea folosită la tabla în starea de livrare. De asemenea se indică și punctajul determinat conform STAS 5490-80.

Așa cum era de așteptat se constată influența pozitivă a unei granulații mai fine, în ceea ce privește atât reducerea vitezei transversale, cât și în privința transparenței (ex. probele 6.11, 6.16.7, 6.17).

De asemenea se poate observa influența transformării AC_1 cu răcire în apă și aer, când se constată cele mai substanțiale modificări în ceea ce privește propagarea ultrasunetelor în oțel.

Din cele prezentate rezultă următoarele:

- în ceea ce privește punctajul conform STAS 5490-80 situația cea mai nefavorabilă este la proba 6.15, cinci probe prezintă punctajul inițial, două probe au punctajul de 6, iar alte patru probe prezintă un punctaj de 7/8 ;

- dispersia maximă a durității Vickers o prezintă proba 6.2, la care a avut loc transformarea specifică călirii, proba 6.16 are o dispersie de asemenea apreciabilă asupra durității Vickers, urmată de proba 6.3 care din acest punct de vedere manifestă o dispersie mai mică în comparație cu celelalte ;

- reducerea vitezei de propagare a ultrasunetelor, cu unde transversale, se face maxim la proba 6.6, după care urmează proba 6.3 și probele 6.15 aproape cu aceeași reducere ;

- atenuarea produsă în ceea ce privește propagarea ultrasunetelor în probele analizate se constată a fi maximă la proba 6.8, urmată de proba 6.9, iar cazul cel mai favorabil se întâlnește la proba 6.6 ;

- în cazul celorlalte probe variațiile parametrilor tehnici analizați prezintă valori mai mici.

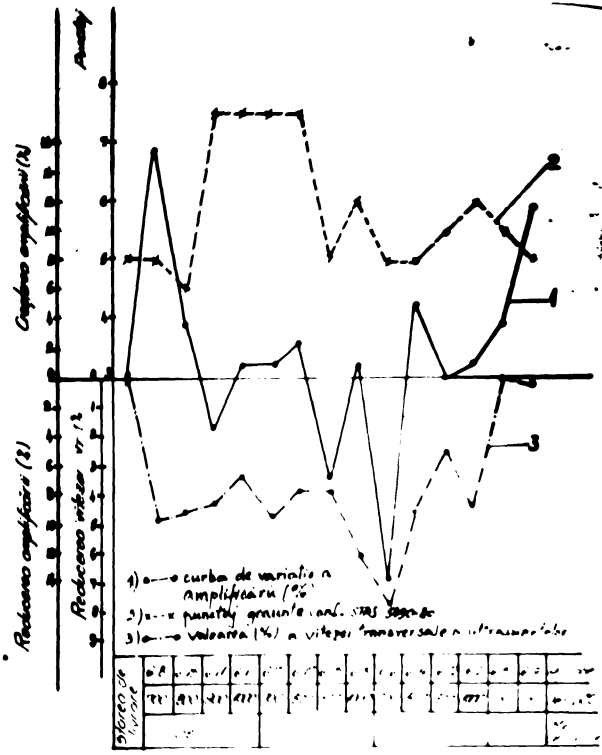
Analizând curbele din fig.6.2.2 se pot deduce în continuare următoarele :

- în cazul probei 6.8 reducerea vitezei transversale a ultrasunetelor este însoțită și de o creștere a amplificării. Această situație se explică prin faptul că proba 6.8 are o structură lamelară ;

- probele 6.11, 6.1, 6.7, 6.17, 6.3, 6.12 prezintă cele mai mici variații ale amplificării în comparație cu materialul în starea de livrare, deși aceste probe au suferit tratamente termice. Se poate deduce că o granulație de 5/6 asigură o transparență bună a ultrasunetelor ;

- probele încălzite la AC_3 și răcite cu viteze diferite readuce oțelul în starea de livrare în ceea ce privește viteza transversală a ultrasunetelor ;

- repetarea transformărilor la AC_3 cu răcire în aer (proba 6.9)



10
 20
 30

influențează nefavorabil transparența ultrasunetelor în oțel.

Căutând explicație a celor prezentate, având în vedere și prevederile din STAS 2500/1-80, rezultă următoarele:

a) încălzirea oțelului la punctele specifice transformărilor și anume AC_1 , temperatura la care începe transformarea feritei în austenită, respectiv AC_3 , temperatura la care se termină această transformare, produce modificări ale parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor în oțel ;

b) de asemenea se obțin modificări la răcirea oțelurilor la temperatura A_{r1} care are semnificația terminării transformării austenitei în perlită, respectiv A_{r3} , temperatura la care începe separarea feritei din austenită ;

c) mărimea grăuntelui de asemenea influențează propagarea ultrasunetelor în oțel.

Situația în cazul oțelului răcit în apă (proba 6.2) conduce la reducerea cu 4,4 % a vitezei transversale a ultrasunetelor, fără o atenueare vizibilă a modului de propagare a acestora.

În schimb răcirea acestuia în ulei (proba 6.3) conduce la reducerea vitezei transversale cu 6 %, oțelul prezentând o structură neomogenă cu separări de perlită lamelară mare. Atenuarea propagării ultrasunetelor în oțel este neînsemnată.

Cea mai pronunțată reducere a vitezei transversale a ultrasunetelor de 7,8 % se constată la proba 6.6, încălzită la AC_1 și răcită în apă, fără atenuarea propagării ultrasunetelor.

În schimb atenuările cele mai accentuate ale ultrasunetelor se constată la proba 6.8 (încălzită la AC_1 și răcită în aer), și la proba 6.9, încălzită la AC_3 și răcită în aer, însă cu repetarea acestui tratament.

Influența mărimii grăuntelui se constată la proba 6.15, unde reducerea vitezei transversale a ultrasunetelor este de 5,6 %.

Din cele expuse rezultă că procesele termice executate mai ales în condiții aleatoare pot să conducă la modificări în ceea ce privește caracteristicile tehnice ale materialului.

Se poate menționa că probele încălzite între $700...800^{\circ}C$ se produc transformări care influențează negativ propagarea ultrasunetelor în oțelul analizat. De reținut că răcirea de la această temperatură cu viteze mai mici, în special în aer, influențează negativ parametrii care definesc propagarea fascicolului ultrasonic în metal. Pentru aceleași temperaturi răcirea cu viteze mari, corespunzător efectului de răcire în apă, reduce rezistența de propagare a

ultrasunetelor în oțel. În cazul sudării prin topire un volum apreciabil de oțel va ajunge la aceste temperaturi și răcirea se va face cu viteze mici, datorită aportului de căldură la depunerea straturilor intermediare.

Deși încălzirea la temperatura de 1000°C are un efect negativ mai puțin pronunțat în această privință, totuși prin repetarea ciclurilor de încălzire și răcire se mărește rezistența de propagare a ultrasunetelor în oțel (cazul probelor 6.5 și 6.9).

Energia ultrasonoră contribuie într-o măsură apreciabilă la elucidarea fenomenelor care au loc în material, datorită influenței proceselor termice.

Aplicând relațiile cunoscute și pe baza vitezelor de propagare ale ultrasunetelor s-au determinat constantele fizice E și G pentru cazurile cercetate.

Se constată valori mult diminuate ale modulelor E și G, în comparație cu valorile oțelului în starea de livrare determinate și anume:

$$E = 2056672,3 \text{ daN/cm}^2$$

$$G = 773185,08 \text{ daN/cm}^2$$

Cele mai mici valori ale acestor constante sînt obținute în cazul probelor 6.6, 6.3 și 6.2, la care modulul de elasticitate longitudinal are valori sub 1.900.000 daN/cm² iar cel transversal mai mici de 700.000 daN/cm².

Aceste determinări sînt foarte prețioase avînd în vedere simplitatea metodei de investigare.

De reținut că în toate cazurile s-a considerat constante densitatea și coeficientul lui Poisson.

6.3. Determinarea parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor în probele sudate

Probele cercetate cu dimensiunile 110x170 mm au fost prelevate dintr-o probă sudată cu dimensiunile 500x300 mm din oțel marca OL37 STAS 500-80 și grosimea de 15 mm. Proba a fost sudată cap la cap, conform celor prezentate în capitolul 4.

Pentru delimitarea volumului de metal cercetat au fost executate două găuri, din care două amplasate în axa cusăturii sudate.

Amplasarea găurilor pe probă este prezentată în fig. 6.3.1. În aceeași figură este conturată și zona de recoacere la albastru.

Cercetările au fost efectuate pe aceeași probă în două situații: după sudare și după recoacere.

În figura 6.3.1. se prezintă direcțiile după care au fost exe-

cutate iradierile (I, II, III și IV).

Cercetarea ultrasonoră s-a efectuat utilizând capul de palpăre miniatură tip MWB 45 și defectoscopul tip USIP 10 fabricație Krautkramer. Folosind montajul ca interferometru a fost determinată viteza transversală de propagare a ultrasunetelor. Pentru a avea o bază de comparație, toate măsurătorile au fost executate astfel încât drumul parcurs de fasciculul ultrasonic să fie de cca. 11 mm în toate cazurile.

Astfel s-a urmărit ca volumul de material analizat să fie redus la minim pentru a fi în măsură

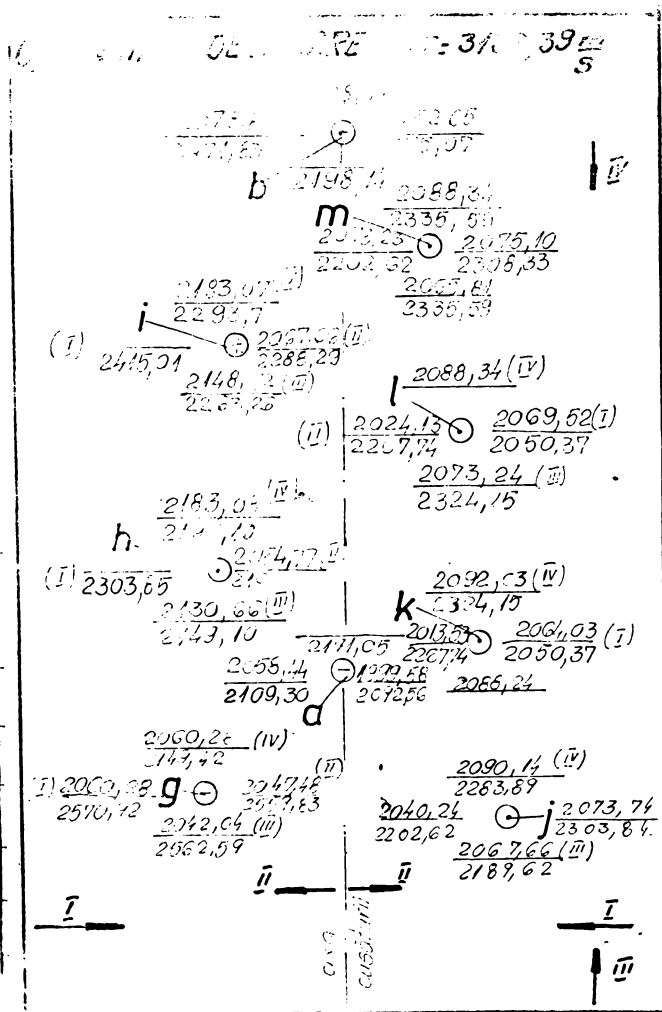


Fig.6.3.1.

Poziția găurilor, direcțiile de iradiere și viteza transversală a ultrasunetelor în proba sudată

ră de a evidenția modificările zonelor cercetate. Amplificarea a fost aleasă astfel încât să se obțină primul ecou de referință cu amplitudinea maximă de 70 mm.

De asemenea s-a urmărit și durezza Vickers HV 30 în jurul gă-

urilor (fig. 6.3.2). In tabelul 6.3.1 se prezintă datele experimentale

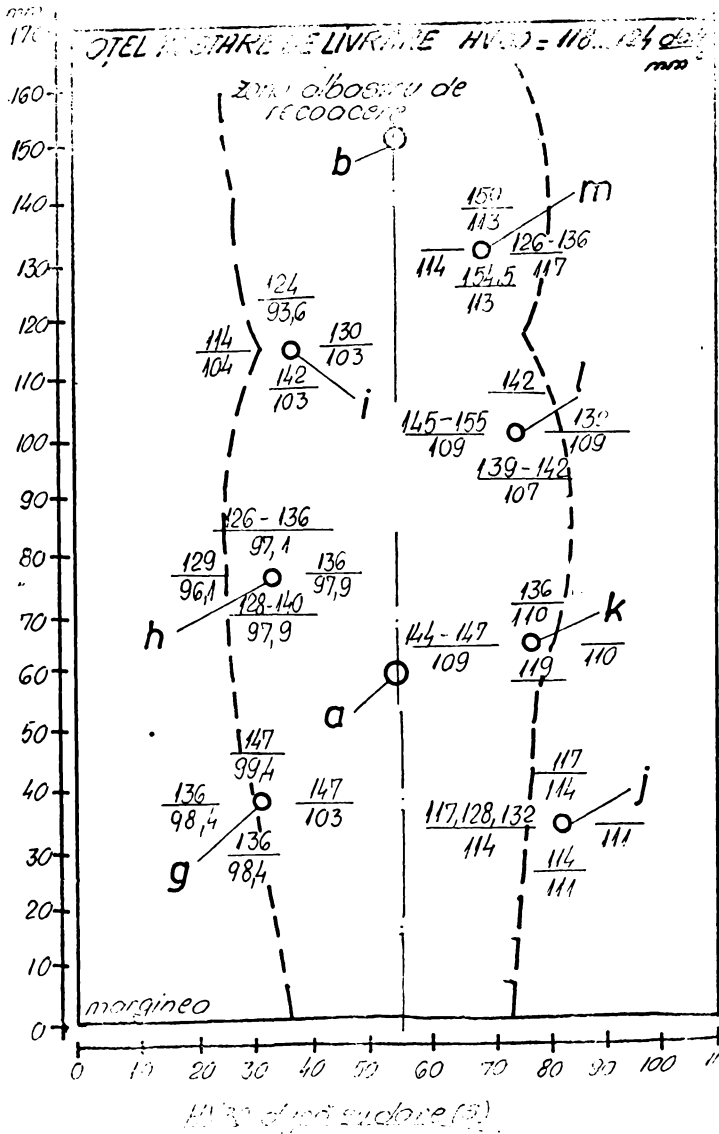


Fig. 6.3.2.

Duritatea HV₃₀ a probei sudate

- se constată o creștere și a durității, obținându-se valori maxime de HV₃₀ = 145...155 daN/mm².

In cazul probei sudată și recoaptă aceleași proprietăți se modifică după cum urmează, în comparație cu oțelul în starea de livrare :

le obținute pe proba sudată, iar valorile între paranteze se referă la situația după revenirea probei sudate. Din analiza datelor experimentale obținute rezultă că procesul de sudare influențează în mare măsură proprietățile inițiale ale oțelului.

Afel la probele sudate au fost constatate următoarele, în comparație cu oțelul în starea de livrare :

- reducerea vitezei transversală de propagare a ultrasunetelor cu 30...36 % ;
- creșterea atenuării ultrasunetelor, prin mărirea amplificării cu 16...65 % ;

Tabelul 6.3.1.

Modul de propagare al ultrasunetelor în probă
după sudare și după recoacere

Zona de iradiere	Direcții de HV	Duritatea HV 30/15	Amplificare ptr. eroarea maximă	Viteza transversală a ultrasunetelor	Observații
		daN/mm ²	db	VT(m/s)	
1	I	136(98,4)	107(92)	2060,28(2570,92)	La limita zonei de revenire
	II	147(103)	96(100)	2047,48(2559,83)	
	III	136(98,4)	97(93)	2042,04(2562,59)	
	IV	147(99,4)	97(86)	2060,28(2149,42)	
2	I	129(96,1)	108(106)	- (2303,85)	In interiorul zonei de revenire.
	II	136(97,9)	99(98)	2054,77(2191,77)	
	III	128-140(97,9)	99(98)	2130,66(2149,42)	
	IV	126-136(97,1)	102(100)	2183,08(2196,10)	
3	I	114(101)	108(98)	- (2415,01)	In interiorul zonei de revenire.
	II	130(103)	94(100)	2067,66(2288,29)	
	III	142(103)	95(94)	2148,52(2263,26)	
	IV	129(93,6)	102(94)	2183,07(2293,7)	
4	I	-	107(104)	2078,84(2471,83)	In axa cusăturii sudată.
	II	-	105(105)	2052,95(2375,07)	
	III	-	- (100)	- (2198,14)	
	IV	-	- (107)	- (2328,04)	
5	I	-	108(102)	2058,44(2109,30)	In axa cusăturii sudată.
	II	-	105(108)	1999,58(2092,56)	
	III	-	- (100)	- (2171,05)	
	IV	-	-	-	
6	I	126-136(117)	93(101)	2075,1(2308,33)	In interiorul zonei de revenire.
	II	- (111)	94(98)	2073,23(2202,62)	
	III	154(113)	93(102)	2065,81(2335,59)	
	IV	150(113)	93(96)	2088,34(2335,59)	
7	I	132(109)	95(108)	2069,52(2050,37)	La limita zonei de revenire.
	II	145-155(109)	99(98)	2024,13(2267,74)	
	III	143-139(107)	93(96)	2073,24(2324,15)	
	IV	142(-)	93(96)	2118,93(-)	
8	I	- (110)	127(104)	2064,03(2050,37)	La limita zonei de revenire.
	II	144-147(109)	127(100)	2013,53(2267,74)	
	III	119(-)	99(-)	2088,24(-)	
	IV	136(110)	90(105)	2092,03(2324,15)	
9	I	- (111)	94(96)	2073,24(2303,84)	La limita zonei de revenire.
	II	117,128,132(114)	107(100)	2040,24(2202,62)	
	III	114(114)	107(95)	2067,66(2189,62)	
	IV	117(111)	92(95)	2090,14(2283,89)	

Valorile între paranteze sînt pentru cazul probei după recoacere.

- reducerea vitezei transversale de propagare a ultrasunetelor cu 18...35 %, deci se constată o lărgire a domeniului de variație a acestuia și o îmbunătățire în această privință ;
- reducerea atenuării ultrasunetelor, prin micșorarea amplificării pentru ecoul maxim cu 19...40 %, deci cu o îngustare a domeniului de variație a acestuia ;
- micșorarea durității, neobținîndu-se nici o valoare a aceste-

ia la nivelul durității minime a oțelului în starea de livrare, duritatea maximă fiind HV 30 = 117 daN/mm².

Comparând datele obținute pe proba sudată și recoaptă cu cele rezultate pe proba sudată se constată următoarele, ca valori limită :

- o creștere maximă a vitezei transversale de propagare a ultrasunetelor de maxim 25 % și minimă de 1 % ;
- o îmbunătățire a transparenței ultrasunetelor corespunzătoare reducerii amplificării între 0 și 27 % ;
- o micșorare a durității Vickers HV 30 între 16 și 18 %.

După cum rezultă din tabelul 6.3.1., tratamentul termic aplicat la proba sudată conduce la îmbunătățirea substanțială a parametrilor care definesc propagarea undelor ultrasonice în oțel.

În tabelul 6.3.2. se prezintă variația procentuală a vitezei transversale de propagare a ultrasunetelor, a transparenței ultrasonice concretizată prin creșterea sau micșorarea amplificării și a durității HV 30, în cazurile analizate și anume:

- a probei sudate în comparație cu starea oțelului la livrare;
- a probei sudată și recoaptă în comparație cu proba sudată;
- a probei sudate și recoapte în comparație cu situația oțelului în starea de livrare.

Se constată din acest tabel că proba sudată și recoaptă în comparație cu proba sudată prezintă modificări mai esențiale în ceea ce privește transparența ultrasonică.

Pentru a completa datele obținute au fost prelevate probe în vederea analizei structurale, inclusiv determinarea mărimii grunțului conform STAS 5490-80.

Tabelul 6.3.2.

Diferența procentuală a parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor și a durității

Zona	După sudare față de starea de livrare (%)	După recoacerea probei sudată față de proba sudată starea de livrare (%)											
		Δv_T		Δ_{dB}		ΔHV		$\pm \Delta v_T$		Δ_{dB}		ΔHV	
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	I	34	39		+12,4	+25		16	-12,4	18	19		-23
	II	35	25		+21,5	+25	4		-21,4	18	30		-17,5
	III	35	26		+12,4	+25		4	-12,4	18	21		-23
	IV	34	26		+21,5	+4		1	-21,4	32	25		-22
2	I	34	40		+6,6	+3		8	-34,2	27	38		-26
	II	35	29		+12,4	+7		1	-38,9	30	23		-23,6
	III	30	29		+10,7	+1		1	-36,8	32	23		-23,6
	IV	30	32		+8,2	+1	2		-34,9	30	30		-24,6

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	I	31	40			-6,1	+1,1		10	-12,9	23	23		-19,8
	II	34	22			+7,4	+11	6		-26,2	27	30		-17,5
	III	32	23			+17,4	+5		1	-37,9	28	22		-17,5
	IV	30	32			+2,5	+5		8,5	-32,5	27	22		-29,2
4	I	34	39			-	+19		2,9	-	21	35		-
	II	35	36			-	+16		-	-	24	36		-
5	I	34	40				+2		5,9	-	28	32		-
	IV	36	36				+5	2,8		-	33	40		-
6	I	34	21			+8,2	+11	8,6	-	-12	26	31		-3,4
	II	34	22			-	+6	4,3			30	23		-
	III	34	16			+27,7	+13	14,6		-39,2	26	32		-7
	IV	33	21			+24	+12	3,2		-32,7	26	25		-7
7	I	34	23			+9,1	-1	13,7		-21,1	35	40		-11
	II	34	29			+24	+12		1	-36	28	23		-11
	III	34	21			+16,1	+12	3,2		-32,7	26	25		-13,1
	IV	34	21			+17,4	-2				35			-
8	I	34	65			-	-1		17,6		35	35		-11
	II	34	65			-20,2	+13		27	-33,5	28	30		-11
	III	33	29			-1,6	+12				25			-
	IV	33	17			14,9	+11	16,7		-23,6	26	36		-11
9	I	34	22				+10	2,1			27	25		-11
	II	35	39			+4,1	+8		7	-10,5	30	30		-6,1
	III	34	39			-6,1	+6		12,6	-	30	23		-6,1
	IV	33	19			-3,4	+9	3,2		-5,4	27	23		-11

În tabelul 6.3.3. se prezintă analiza structurală din proba sudată și recoaptă.

Tabelul 6.3.3.

Analiza structurală în zonele probei sudate

Proba	Distanța la axa cusăturii (mm)	Duritatea HV30 (daN/mm ²)	Analiza structurală	Punctaj STAS-5490-80
Gaura 2	22	126-140	Structură poliedrică mare cu perlită la limita grăunților	4/5/6
Gaura 5	0	-	Structură poliedrică, neomogenă, parțial în șiruri (materialul de bază), parțial structură dendritică.	6/7,
Gaura 7	22	132-155	Structură cu ferită poliedrică, perlita în șiruri (neomogenă)	6/7
Gaura 8	28	136-147		

Din analiza probelor sudate inclusiv după recoacere se constată că în volumul restrins al metalului, care a fost influențat de procesul de sudare nu sînt regăsite situațiile constatate la probele tratate termic, din același oțel.

Este de așteptat acest lucru avînd în vedere volumul restrîns de metal care participă direct la realizarea îmbinării sudate, ca

și marca oțelului utilizat. Totuși parametri care definesc propaga-
rea ultrasunetelor sînt influențați într-o mare măsură așa cum s-a
arătat.

Pentru a extinde cercetarea pe un volum de metal mai mare (de
cca. 2 ori mai mult decît în cazul precedent, s-au debitat trans-
versal probe care au fost investigate în același mod ca și cele -
lalte. În tabelul 6.3.4. se prezintă rezultatele obținute pe ace-
ste probe, în comparație cu oțelul în starea de livrare din care se
pot deduce următoarele :

- în cazul probei 2, la care reducerea vitezei de propagare
a ultrasunetelor este de 4 %, situație care se regăsește la probe-
le tratate termic ca 6, 7; 6, 16; 6, 17; 6, 11; 6, 13 ;

- în cazul probei 3 la care reducerea vitezei de propagare a
ultrasunetelor este de 8 % situația poate fi asimilată cu proba
tratată termic 6.6.

Din cele două cazuri rezultă că se poate lua în comparație,
cazul experimental obținut prin încălzire la AC_1 și obținerea unor
viteze de răcire aer-apă sau apă-ulei.

În restul probelor sînt regăsite reducerile corespunzătoare
obținute anterior pe proba sudată și recoaptă.

Ca transparență se constată o îmbunătățire în ceea ce priveș-
te probele 2 și 6 în comparație cu celelalte, însă care sînt totuși
inferioare materialului în starea de livrare.

Din tabelul 6.3.4. rezultă modificări spectaculoase din cusă-
tura sudată, avînd în vedere neomogenitatea acesteia. Acest lucru
este mai evident pentru probele transversale avînd în vedere că în
acest caz este inspectat un volum mai mare al cusăturii, cu carac-
terul neomogen al acesteia. În materialul care nu a fost influențat
de procesul de fuziune aceste variații sînt mai puțin evidente și
mai corelate între ele (ex. probele 4, 5, 6, 7 și 8).

Pe baza relațiilor existente între viteza transversală a ul-
trasunetelor și constantele elastice ale materialului, în figura
6.3.3 se prezintă valorile modulului transversal (G) pentru probe-
le sudate (S) și a probelor sudate și recoapte (R), pentru zonele ex-
aminat în raport cu poziția găurilor din cusătură și Z.I.T.

Se constată în cazul probei sudată că vor fi obținute următoa-
rele valori limită ale modulului transversal :

$$G = 321339,29 \dots\dots 374114,86 \quad \text{daN/cm}^2$$

și longitudinal :

$$E = 870722,51 \dots\dots 995145,52 \quad \text{daN/cm}^2$$

Tabelul 6.3.4.

Definirea parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor
in proba sudată

Proba	Distanța la axa cusăturii	Duritatea HV 30	Analiza structurală	Punctaj STAS 5490-80	Viteza tra- nversală a care ptr. ultrasunete-ecou lor v _T	Amplifi- carea maximă (dB)	Observații
	(mm)	(daN/mm ²)			(m/s)		
1	cusătură	204	Structură dendritică, neomogenă	5/6/7	2524,20 (80,5)	(+33,7) 103	Partea superioară a cusăturii
2	cusătură	160 -172	Structură de normalizare ferito-perlitică, fină, (globulizată).		3024,14 (96,5)	88 (+11,7)	Partea centrală a imbinării
3	adiacenta cusăturii	152 -156	Structură neomogenă, parțial transformată, fină, parțial lamelară și în șiruri.		2893,18 (92,3)	102 (+32,7)	
4	material de bază	118 -124	Structură lamelară	5	3138,39	67	
5	16	118 -125	Structură poliedrică	5/6	2635,15 (83,7)	100 (+30,0)	
6	22	126 -144	Structură cu ferită poliedrică și perlită în șiruri	6/7	2631,06 (83,6)	82 (+ 6,5)	
7	39	107 -114	Structură lamelară	5/6	2553,25 (81,3)	94 (+ 22,1)	
8	44	119 -135	Structură poliedrică	7	2621,41 (83,4)	102 (32,7)	

OBS: Valorile in paranteze se referă la diferența procentuală față de oțelul in starea de livrare.

De reținut că la cusătură se obțin valori și mai mici, anume $G = 313868,13$ respectiv $E = 834889,22$

În cazul probei sudată și recoaptă vor fi obținute valori superioare ale constantelor elastice și anume :

$$G = 362562,51 \dots\dots 514389,27 \text{ (daN/cm}^2\text{)}$$

$$E = 964416,21 \dots\dots 1368215,4 \text{ (daN/cm}^2\text{)}$$

La aceiași probă în cusătură vor fi valorile minime pentru constantele elastice: $G = 343736,37$ și $E = 914338,75$

Din cele de mai sus rezultă că procesul de sudare influențează într-o măsură mai însemnată parametrii care definesc propagarea undelor ultrasunice în oțel, în comparație cu situația creată prin aplicarea tratamentelor termice.

Din tabelul 6.3.2. rezultă și influența tratamentului de recoacere a probei sudate, constatându-se următoarele în ceea ce privește valoarea modulului G :

- există zone în care tratamentul de recoacere majorează substanțial valoarea modulului G după sudare și anume cca 55...60 % în zona găurii 1, cu 20 ... 28 % în zona găurilor 2,3,6,7,9 ;
- sînt zone unde creșterea valorii modulului G este mai moderată cu 10...15 % , cum este cazul găurilor 1,2,3,6,9 ;
- sînt zone unde se constată variații neînsemnate ale valorii modulului G în cazul găurilor 2 după direcțiile III și IV ;
- se constată și cazuri în care modulul G după recoacere prezintă valori mai mici în comparație cu acelea după sudare cum este cazul anumitor zone ale găurii 7.

Aceasta atestînd că tratamentul de recoacere nu are un efect în acele zone.

Cercetările au continuat pe sudarea cap la cap a două plăci din oțel cu dimensiunile 60 x 90 mm, din aceeași tablă. La distanțe diferite față de cusătura sudată au fost executate găuri cu diametrul de 4 mm. Pe fișile $A_1 \dots A_5$ și $B_1 \dots B_5$ au fost determinate duritățile Vickers HV 30, lucru indicat în fig. 6.3.4.

Valoarea durităților este mai mică decît în primul caz, valorile maxime obținîndu-se pe fișia B_5^P . Această placă s-au executat iradierei cu capul de palpăre MWB 45, ca și în cazul anterior, pe direcția indicată în figură.

În figura 6.3.5. se prezintă rezultatele obținute pe proba sudată din figura 6.3.4. și următoarele situații :

- a) amplificarea necesară pentru a menține amplitudinea maximă a ecoului de referință ;

*

direcție de iradiere U.S.									
A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₅	B ₄	B ₃	B ₂	B ₁
110	115	114	117	111	127	107	108	107	107
110	116	114	119	117	127	107	108	112	112
109	116	114	118	117	127	106	108	109	110
110	119	117	118	119	130	116	108	109	110
110	115	110	118	119	130	114	105	100	100
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
110	119	114	120	119	123	116	119	107	107
110	116	114	117	119	123	114	113	108	105
115	117	114	115	121	125	116	109	108	109
115	117	116	115	121	127	118	107	102	107
115	114	115	116	127	125	114	116	108	107
	113	115	116	121	127	119	116	104	107

x
cusătură sudată

x-x Axo cusăturii

Fig. 6.3.4. Variația durității la proba sudată

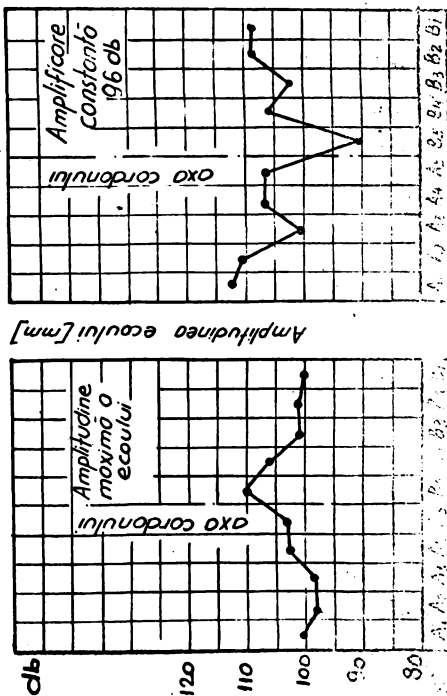


Fig. 6.3.5. Propagarea ultrasunetelor în proba din fig. 6.3.4.

b) amplitudinea ecoului de referință care asigură menținerea constantă a amplitudinii ecoului respectiv db.

De remarcat că la punctul B₅ se constată cele mai pronunțate modificări, în acest sens se obțin valori ale durității cu 15 % mai mari față de menținerea amplitudinii maxime a ecoului de referință, care este joasă cu aproximativ 10 %, iar amplificarea constantă de 96 dB este dinca ecoului de referință se micșorează cu 10 %.

Din cele arătate se poate observa că variații relativ mici ale durității, însă dificil de detectat datorită sudurii, influențează mai substanțial propagarea ultrasunetelor ceea ce trebuie avut în vedere la stabilirea parametrilor care definesc calitatea cu ultrasunete a învelișurilor sudate.

6.4. Concluzii

Din cercetările efectuate pe probe supuse la trindere (identice cu cele utilizate pentru încercări de tracțiune) s-a constatat modificări ale vitezei de propagare ale undelor trans-

probele ultrasonice după cum se prezintă în tabelul 6.4.1. Determinările au fost executate cu sonde normale cu curent Y.

Tabelul 6.4.1.1.

Variația procentuală a vitezei
transversale a ultrasunetelor
în funcție de deformare

Nr. probetă	Deformația (%)	Variația procentuală a vitezei v_T	Observații
1	0,1	+ 1,01	În stare de livrare metalul a avut $v_T = 3160,5$ m/s
2	0,2	+ 1,91	
3	0,3	+ 3,00	
4	0,4	+ 5,00	
7	0,5	+ 1,15	
5	1,0	+ 1,02	
6	2,0	+ 0,47	

Din acest tabel rezultă că deformațiile la tracțiune axială pot produce creșteri ale vitezei de propagare ale undelor transversale ultrasonice, cel mult de 5 % la o deformație de 0,4 %.

6.4.2. Pe probele supuse tratamentelor termice se pot obține diminutri ale aceleiași viteze pînă la maxim 7,8 %.

6.4.3. Proba sudată cu dimensiunile 100x170 mm, prelevată dintr-o altă probă mai mare cu dimensiunile 300x500 mm, sudată cup la cup prin topire este caracterizată prin modificări esențiale în viața parametrilor care definesc propagarea undelor transversale, obținându-se o diminuare a vitezei de propagare de maxim 36 %, lucru care se justifică prin neomogenitatea produsă nu atât prin procesele termice, care în cazul oțelului OL 37 experimentată structural sînt limitate și neînsemnate, însă accentuată datorită deformațiilor și tensiunilor remanente produse prin sudare.

modificarea constituțiilor structurale și granulației

Tratamentul de recocer aplicat pe aceeași probă deși aduce unele ameliorări în această privință nu a fost în măsură de a anula aproape complet efectul surării prin topire cu aer. Această situație este cauzată tocmai prin diferitele stări locale (neomogenități) create prin procesul de sudare.

6.4.4. Se cunoaște unor probe cu dimensiuni mai reduse 60x90 mm, tendința la modificări mai puțin importante ai parametrilor care definesc propagarea undelor ultrasonice transversale, ceea ce se justifică tocmai prin existența unor deformații și tensiuni remanente mici.

7. CERCETĂRI EFECTUATE PE MODELE LA MĂRIME NATURALĂ (SCARA 1 : 1)

Cercetările au fost executate în continuare pe modele la la mărime naturală (scara 1 : 1), care au fost preluate în unele cazuri și de cercetări efectuate pe modele transparente în lumină polarizantă

Aceste experimentări s-au efectuat pentru a completa rezultatele obținute pe probe de laborator.

7.1. Stabilirea pe model a nivelului tensiunilor din profilul I sudat utilizat ca lonjeroni la scheletul metalic inferior al locomotivelor

La locomotivele magistrale se utilizează la scheletul metalic inferior profilul greu laminat I cu dimensiunile 15x10x330x300 mm, din St 37-3 DIN 17100, procurat din import relația vest 245.

Pentru evitarea importului acestui profil laminat, s-au cercetat posibilitățile realizării acestuia în construcție sudată, folosind pentru elementele componente tablă din oțel R 3 STAS 2883/2-70 cu grosimea de 8 și 10 mm.

În fig. 7.1.1. se prezintă variantele dimensionale experimentate, menținându-se constante grosimea inimii și a tălpii, de 8 și respectiv 10 mm, ca și înălțimea profilului, variind lățimea b a acestuia cu valorile de 120, 140, 200 și 250 mm, după necesitățile de utilizare. Rosturile îmbinărilor au fost în $K, \frac{1}{2} V$ și fără prelucrare.

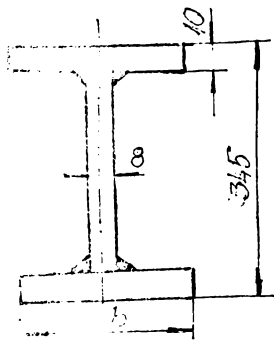


Fig. 7.1.1.
Dimensiunile profilului I sudat

Cusăturile sudate s-au executat sub flux, folosind ca material de adaos sîrma de sudare SLOMI aliată cu mangan cu diametrul de 2 mm, fluxul fiind acid FSM37.

Sudarea s-a executat în starea liberă a profilului, urmărindu-se în raport cu regimul de sudare mărimea deformațiilor rezultate. Regimul de sudare a urmărit realizarea cusăturilor cu înăl-

țimea de 5 mm. Prealabil de sudare elementele au fost fixate prin hafturi de sudură. Ordinea realizării cusăturilor sudate se prezintă în fig. 7.1.2., iar în fig. 7.1.3. se arată modul de execuție al cusăturilor. Regimul de sudare se prezintă în tabelul 7.1.1.

Energia liniară s-a stabilit prin relațiile din literatură 122 și prezentate în anexa 14.

Cusăturile sudate avînd rostul în K sau $\frac{1}{2} V$ au prezentat în timpul sudării curgere de metal la rădăcină, ceea ce a creat condi-

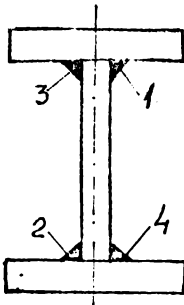


Fig. 7.1.2.
Ordinea realizării cusăturilor sudate

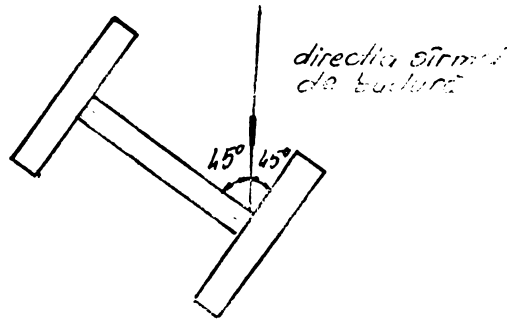


Fig. 7.1.3.
Modul de execuție al cusăturilor sudate

Tabelul 7.1.1.

Regimurile de sudare ale modelelor

Nr. cusături	Tensiunea arcului $U_a(V)$	Curent de sudare $I(A)$	Viteza de sudare $V_s(m/min)$	Viteza șirmei (m/min)	Energia liniară J/cm
1	32 - 35	275	0,38	2,6	8437
2	32 - 35	275	0,38	2,6	8437
3	32 - 35	275	0,39	2,6	8307
4	32 - 35	280	0,39	2,6	8330

ții necorespunzătoare realizării depunerilor următoare. In schimb imbinările fără pregătirea rostului nu s-a constatat acest neajuns, in care sens s-a acceptat această soluție tehnologică.

După sudarea modelului cu lungimea de 1200 mm s-a efectuat in primul rând verificarea dimensională a acestuia, constatându-se o săgeată de 4 mm constatată pe toată lungimea acestuia, cum se prezintă in fig. 7.1.4. In fig. 7.1.5. se prezintă variația dimensională a dimensiunilor cusăturii sudate.

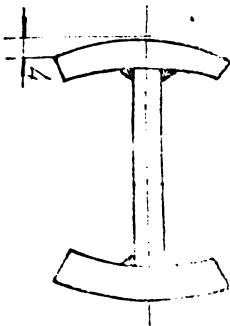
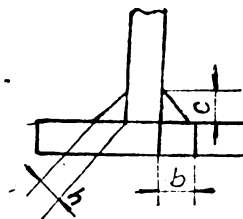


Fig. 7.1.4.
Săgeata modulului sudat



b	7,5 - 9
c	8 - 9
h	4 - 5,5

Fig. 7.1.5.
Dimensiunile cusăturii sudate

Măsurarea deformațiilor s-a făcut folosind extensometria mecanică, în care sens au fost utilizate rozete din segmente la 45° fața de altul. Segmentele au avut baza de 100 mm pe inima profilului, modul de amplasare fiind prezentat în fig. 7.1.6., iar pe cele două talpi baza a fost de 40 mm, amplasarea rozetelor fiind indicată în fig. 7.1.7. Măsurarea segmentelor s-a efectuat înainte

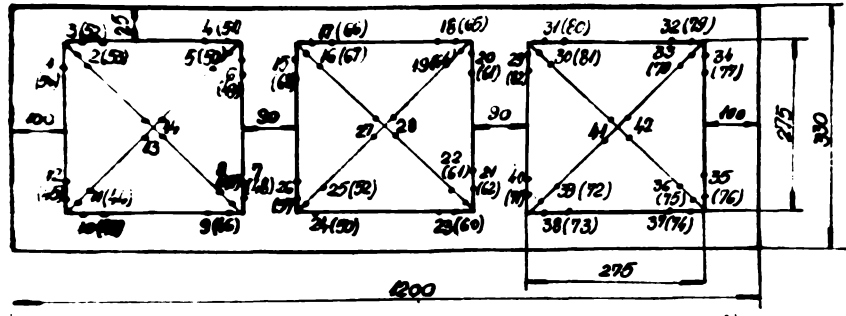


Fig. 7.1.6.
Modul de amplasare al rozetelor pe inima profilului.

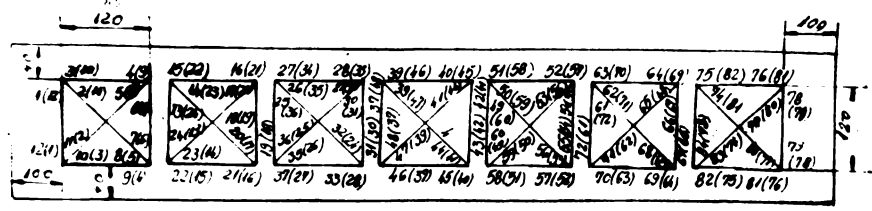


Fig. 7.1.7.
Modul de amplasare al rozetelor pe talpile profilului.

după sudare. În tabelele 7.1.2, 7.1.3 și 7.1.4 se prezintă valorile deformației specifice după sudare pentru fiecare segment, iar relației lui Hooke generalizată au fost determinate pentru care rozetă tensiunile normale principale σ_I și σ_{II} , ca și unghiul ψ este direcția principală în comparație cu direcția cristalină a sistemului stabilit inițial.

Tabela 7.1.2

Tabelul 7.1.2.

Situația pe talpa I a profilului

Poziția	Deformația	σ		tg 2φ
		σ _I	σ _{II}	
1	2	3	4	5
v	+ 0,000425	0	0	0
d	- 0,000325			
0	- 0,001025			
v	+ 0,00015	- 5,82	- 32,16	- 0,0016
d	- 0,000125			
0	- 0,000925			
0	- 0,000925	8,03	- 21,53	0,0345
d	+ 0,000025			
v	+ 0,00055			
v	- 0,00005	3,19	- 22,09	- 0,011
d	- 0,0008			
0	- 0,00045			
0	- 0,00075	4,40	- 20,70	- 0,488
d	- 0,00045			
v	- 0,000175			
v	- 0,0003	12,18	- 20,05	- 0,288
d	- 0,000375			
0	- 0,00075			
0	- 0,000725	7,04	- 17,54	- 0,028
d	- 0,0006			
v	- 0,000025			
v	+ 0,000325	- 3,67	- 15,73	- 0,061
d	- 0,0008			
0	- 0,000425			
v	+ 0,00045	- 5,35	- 16,70	- 0,667
d	- 0,00045			
0	- 0,000375			
0	+ 0,000725	0,853	- 16,81	0,402
d	+ 0,0004			
v	- 0,000375			
v	- 0,00025	11,41	- 16,13	- 0,250
d	+ 0,000275			
0	+ 0,000375			
0	+ 0,000675	16,15	- 3,80	0,257
d	- 0,000025			
v	- 0,000125			
v	- 0,000225	38,73	- 15,14	- 0,707
d	+ 0,000375			
0	+ 0,000375			
0	+ 0,000375	16,27	- 4,7	- 0,750
v	- 0,000375			
v	- 0,00025			
v	- 0,000125	13,02	- 4,77	0,091
d	- 0,00045			
0	+ 0,0004			
0	+ 0,000125	17,01	- 10,71	- 1,81
d	+ 0,000375			
v	- 0,0003			
v	- 0,0003	8,40	- 11,03	0,027
d	+ 0,00095			
0	+ 0,00095			
0	+ 0,000525	17,16	- 6,53	0,200
d	- 0,000025			

0	1	2	3	4	5
60	v	+ 0,0001			
61	v	- 0,000175	25,39	- 11,74	0,01
62	d	+ 0,000375			
63	0	+ 0,000575			
64	0	+ 0,00085	14,07	- 0,945	- 0,0135
65	d	+ 0,000325			
66	v	- 0,000525			
67	v	+ 0,00015	12,89	- 4,49	0,467
68	d	+ 0,000875			
69	0	+ 0,000175			
70	0	+ 0,0006	18,25	- 11,42	0,236
71	d	+ 0,00025			
72	v	- 0,00015			
73	v	+ 0,0003	18,38	- 11,53	0,0057
74	d	0			
75	0	- 0,00055			
76	0	- 0,000825	12,62	- 3,17	0,667
77	d	- 0,000225			
78	v	+ 0,00055			
79	v	+ 0,000225	6,68	- 11,93	- 0,294
80	d	+ 0,00005			
81	0	- 0,0007			
82	0	- 0,000475	11,67	- 17,44	0,127
83	d	- 0,000275			
84	v	- 0,000075			

Tabelul 7.1.3.

Situția pe talpa 2 a profilului

Segment	Posiția	Deformația	σ_I	σ_{II}	tg 2φ
0	1	2	3	4	5
1	v	0,00043	0	0	0
2	d	-0,0002			
3	0	-0,0012			
4	0	-0,00163	9,47	-25,63	- 0,227
5	d	-0,00018			
6	v	-0,00013			
7	v	-0,00008	6,27	-37,77	- 0,643
8	d	-0,00025			
9	0	-0,00098			
10	0	-0,00103	0	-22,26	- 0,622
11	d	0			
12	v	-0,00028			
13	v	0,00013	2,10	-29,60	- 0,017
14	d	+0,00048			
15	0	-0,00073			
16	0	-0,00075	12,40	-25,00	- 0,018
17	d	-0,00028			
18	v	+0,00023			
19	v	-0,00005	4,84	-15,76	+ 0,041
20	d	-0,00033			
21	0	-0,00083			
22	0	-0,0007	0,73	-17,75	- 0,382
23	d	-0,00063			
24	v	0,0001			
25	v	0,0003	4,59	-17,19	0,825
26	d	-0,00038			

0	1	2	3	4	5
27	0	-0,00073			
28	0	-0,00058	6,94	-15,87	+ 0,320
29	d	-0,00018			
30	v	-0,00015			
31	v	-0,00048	1,71	-13,62	- 0,860
32	d	-0,00035			
33	0	-0,00033			
34	0	-0,00063	6,55	-10,46	+ 0,733
35	d	-0,00023			
36	v	0			
37	v	0,00013	0,83	-18,26	- 0,446
38	d	-0,00015			
39	0	-0,00063			
40	0	-0,00088	3,00	-13,50	- 0,263
41	d	-0,00008			
42	v	-0,00018			
43	v	-0,00007	0,842	-23,10	+ 0,013
44	d	+0,00005			
45	0	-0,00081			
46	0	-0,00083	1,09	-32,80	- 0,0015
47	d	-0,00033			
48	v	-0,00015			
49	v	+0,00001	2,38	-18,18	- 0,470
50	d	-0,00033			
51	0	-0,00083			
52	0	-0,00063	2,15	-17,46	- 0,076
53	d	-0,00013			
54	v	+0,00005			
55	v	-0,00108	1,80	-13,98	0,470
56	d	-0,00033			
57	v	-0,00098			
58	v	-0,00009	6,89	-36,37	0,0014
59	d	-0,00023			
60	v	-0,00040			
61	v	+0,00015	2,38	-23,91	- 1,68
62	d	-0,00001			
63	0	-0,00081			
64	0	-0,00085	4,25	-18,11	- 0,477
65	d	-0,00058			
66	v	+0,00013			
67	v	-0,00068	2,72	-18,84	0,419
68	d	-0,00006			
69	0	-0,0011			
70	0	-0,00088	11,17	-26,21	- 0,014
71	d	-0,00013			
72	v	-0,00081			
73	v	+0,00033	2,71	-32,78	- 0,002
74	d	-0,00043			
75	0	-0,00068			
76	0	-0,00091	8,20	-15,55	+ 0,504
77	d	-0,00005			
78	v	+0,00086			
79	v	-0,00033	20,57	-21,62	+ 0,537
80	d	-0,00081			
81	0	-0,00093			
82	0	-0,00093	5,88	-20,58	+ 0,6
83	d	-0,00025			
84	v	-0,00085			

Tabelul 7.1.4.

Situația pe înălțimea profilului

Sfert înălț.	Pozi- ția	Deformația	σ I	σ II	$\operatorname{tg} 2\varphi$
			3	4	5
0	v	+0,00012	3,17	-11,78	-0,416
1	d	-0,00035			
2	o	-0,00053			
3	o	-0,00063	6,04	-14,44	-0,535
4	d	+0,00003			
5	v	+0,00023			
6	v	+0,00024	5,17	-13,36	+0,172
7	d	-0,00012			
8	o	-0,00063			
9	o	-0,00062	2,66	-13,16	-0,187
10	d	-0,00032			
11	v	+0,00012			
12	v	+0,00010	2,20	-16,27	-0,149
15	d	-0,00027			
16	o	-0,00077			
17	o	-0,00073	5,57	-16,09	-0,395
18	d	-0,00006			
19	v	+0,000213			
20	v	+0,00023	4,84	-13,66	-0,454
21	d	-0,00019			
22	o	-0,00065			
23	o	-0,00056	13,42	-19,51	-0,0160
24	d	+0,00052			
25	v	+0,00027			
26	v	+0,00012	2,02	-16,93	-0,0164
29	d	+0,00003			
30	o	-0,00059			
31	o	-0,00057	6,37	-12,88	-0,469
32	d	-0,00035			
33	v	+0,00026			
34	v	+0,00017	3,78	-15,33	-0,213
35	d	-0,00037			
36	v	-0,00072			
37	o	-0,00064	5,97	-13,95	-0,333
38	d	-0,00004			
39	v	+0,00026			
40	v	+0,00016	3,48	-12,64	-0,105
43	d	-0,00026			
44	o	-0,0006			
45	o	-0,00058	4,63	-13,03	-0,474
46	d	-0,00002			
47	v	+0,00018			
48	v	+0,00019	3,99	-9,24	-0,0159
49	d	-0,00012			
50	o	-0,00044			
51	o	-0,00051	1,47	-10,71	0
52	d	-0,00022			
53	v	+0,00007			
54	v	+0,0001	2,10	-13,24	-0,0411
57	d	-0,00028			
58	o	-0,00063			
59	o	-0,00041	6,51	-10,29	-0,750
60	o	-0,00041			
61	d	-0,00033			
62	v	+0,00023			

0	1	2	3	4	5
63	v	+0,00015	7,56	-15,75	-0,0126
64	d	+0,00063			
65	o	-0,00054			
66	o	-0,00071	3,85	-14,98	-0,124
67	d	-0,00021			
68	v	+0,00018			
71	v	+0,00023	15,32	-23,09	+0,196
72	d	+0,00063			
73	o	-0,0006			
74	o	-0,00092	3,59	-19,34	-0,0642
75	d	-0,00041			
76	v	+0,00017			
77	v	+0,0001	5,89	-9,46	1,70
78	d	-0,0004			
79	o	-0,00027			

In fig.7.1.8. se prezintă variația deformațiilor din inima profilului sudat. Analizând aceste valori rezultă că segmentele verticale prezintă deformații de întindere (un singur caz fiind o contracție) și au valori care ajung pînă la $20 \mu\text{m}$, ceea ce înseamnă deformații specifice de 0,02 %. În schimb segmentele orizontale ale rozetelor indică contracții (un singur caz prezintă întindere) cu valori mai mari, pînă la maxim $100 \mu\text{m}$, ceea ce corespunde la o deformație specifică de 0,1 %.

Dacă se analizează tensiunile normale principale rezultă următoarele :

- în inima profilului I sudat rezultă tensiuni de întindere cu valori relativ mici, cu excepția rozetelor (24,25,26) și (70,71,72), regiuni cu valori ale tensiunilor de $13,42$ și respectiv $15,32 \text{ daN/mm}^2$. Tensiunile de compresiune ale inimii profilului prezintă valori mai mari în general, obținându-se un maxim de $-23,09 \text{ daN/mm}^2$ tot la rozetele (70,71,72);

- tălpile profilului prezintă stări de tensiuni mai mari, cum era de așteptat, avînd în vedere și săgeata măsurată pe lungimea profilului. Pe una din tălpi conform tabelului 7.1.2. se constată tensiuni de întindere cu valori mai mari de la $11,41$ pînă la maxim $38,73 \text{ daN/mm}^2$, în zona cu rozetele (37,38,39), (40,41,42), (43,44,45), (46,47,48), (49,50,51), (52,53,54) și apoi o altă zonă definită prin rozetele (58,59,60), (61,62,63), (64,65,66), (67,68,69), (70,71,72), (73,74,75) și (76,77,78), cu tensiuni de întindere avînd valori de la $12,62$ la $25,39 \text{ daN/mm}^2$. Tensiunile de compresiune cu valori mari se găsesc în partea opusă, în zona delimitată de rozetele (7,8,9), (10,11,12), (13,14,15), (16,17,18), (19,20,21), (22,23,24), (25,26,27), (31,32,33), (34,35,36), (37,38,39), (43,44,45).

Se constată o compensare a stării tensionale în sensul că la tensiuni de întindere cu valori mari se obțin stări mai mici ale tensiunilor de contracție ;

- talpa cealaltă ale căror tensiuni sînt prezentate în tabelul 7.1.3. este caracterizată prin stări de tensiune de întindere cu valori mici în general, excepție făcînd rozeta (79,80,81) în zona de capăt. În schimb tensiunile de contracție sînt mai mari pe întreaga suprafață a tălpii, ceea ce nu periclitează construcția sudată.

Cercetarea a fost continuată prin analiza macro -i micro structurală a probelor prelevate din profilul sudat.

În general s-a constatat o geometrie corespunzătoare a cusăturilor sudate, asigurîndu-se și o pătrundere bună a acestora. Zona influențată termic din talpa profilului este cuprinsă între 1-2 mm, iar în inima acestuia aceasta este mai extinsă ajungînd pînă la 3-4 mm, avînd în vedere grosimea mai mică a acesteia. Sub aspectul durității Vickers, executată cu sarcina de 5 kgf, rezultă valori în general cuprinse între 175 pînă la 188, cu excepția unei zone cu valori ceva mai mari (203-223 HV 5), care însă nu indică prezența în zona influențată termic a unor constituenți duri și fragili.

Din cercetarea efectuată pe modelul sudat al profilului I rezultă că tehnologic pentru realizarea acestora este stabilită și poate înlocui profilele grele obținute numai prin laminare.

Avîndu-se în vedere fabricația de serie a acestor profile sudate trebuie să se aibă în vedere rezolvarea următoarelor probleme tehnice :

- sudarea în dispozitiv a elementelor de bază (modul) care să aibă secțiunea dorită însă lungimea limitată pînă la 2 m ;

- asigurarea unei predeformări înainte de sudare care să împiedice obținerea unor săgeți după sudare cu valoarea de cca 4 mm.

Valoarea predeformării (C) poate fi stabilită cu ajutorul relației lui Kloppel exprimată după cum urmează :

$$c = \frac{l \cdot a}{30 \cdot t} \quad (7.1.1.)$$

unde:

l = lățimea tălpii profilului ;

a = grosimea sudurii ;

t = grosimea tălpii.

Avînd în vedere lățimea variabilă a profilului, celelalte dimensiuni rămînd constante, rezultă valorile c ale predeformării conform tabelului 7.1.5.

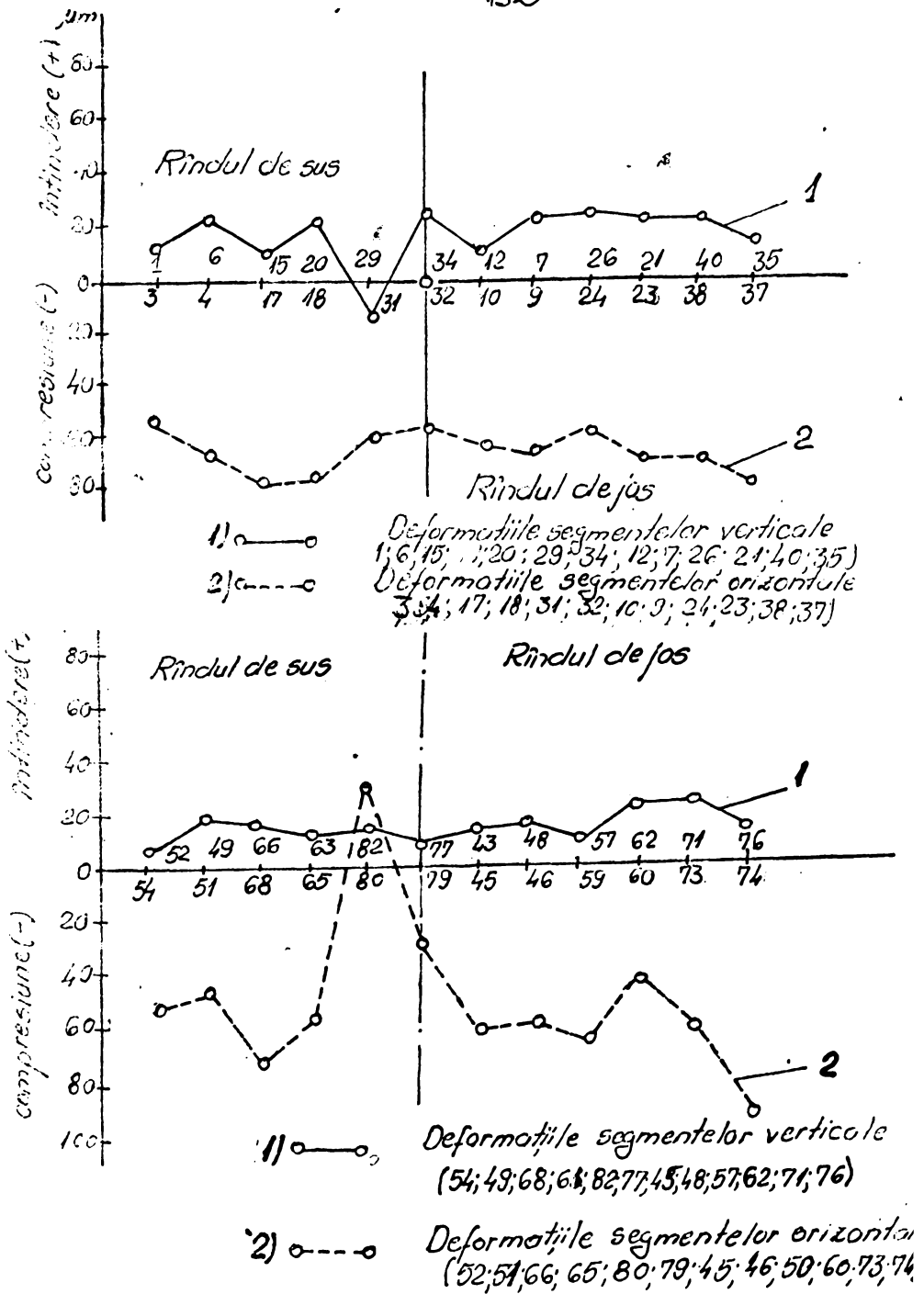


Fig. 7.1.8. Variația deformațiilor din inimă...

Tabelul 7.1.5.

Valoarea predeformării e (mm)

b	120	140	200	250
c	2,0	2,3	3,3	4,2
h	349	349,6	351,6	353,4

Principiul dispozitivului pentru sudarea profilului I este prezentat în fig.7.1.9, care trebuie să asigure posibilitatea reglării distanței dintre cele două grinzi datorită modificării înălțimii h a profilului, conform dimensiunilor prezentate în tabelul 7.1.5.

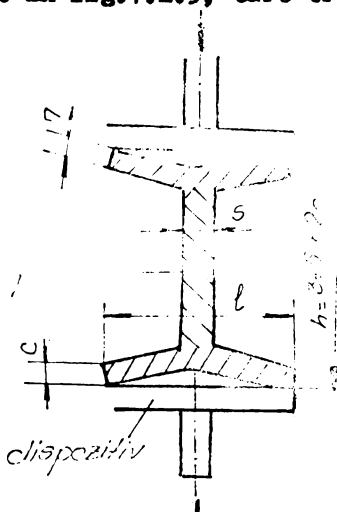


Fig.7.1.9.
Principiul dispozitivului
pentru sudarea profilului
I

Grinda superioară e va fi mobilă, față de grinda inferioară f , cu înălțimea utilă h , care are în vedere predeformările necesare pentru fiecare variantă a profilului sudat.

7.2. Determinarea experimentală a deformațiilor ale unui model sudat, referitor la sudarea plăcii frontale cu lonjeronii de la LDE 2100 CP

Modelul și-a propus de a analiza îmbinarea sudată de la LDE 2100 CP, care se referă la sudarea plă-

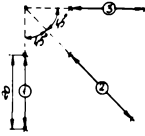
cii frontale cu lonjeronii scheletului metalic inferior. Pe placa frontală este fixat aparatul (cîrligul) de tracțiune al locomotivei.

Scheletul metalic inferior al locomotivei este alcătuit din doi lonjeroni consolidați prin două traverse pivot și traverse intermediare. Întreg sistemul trebuie să fie apt pentru a prelua greutatea tuturor agregatelor din sala mașinilor, din care partea principală o constituie grupul diesel-generator. De asemenea scheletul metalic inferior la care se sudează plăcile frontale din postul de conducere I și II trebuie să transmită forța de tracțiune a trenului, în regimul specific de exploatare al vehiculelor feroviare [246].

Lonjeronul este alcătuit dintr-un profil greu laminat cu lungimea de livrare 16 m, iar secțiunea transversală I 330x300x10x16 mm, din oțel ST 37-3 DIN 17100. Placa frontală este din tablă de oțel OL-37-4k STAS 500-80 cu grosimea de 20 mm.

Modelul a constat din sudarea unei bucăți din profilul I cu lungimea de 190 mm, placa de bază avînd dimensiunile 330x330 mm.

Pentru măsurarea deformațiilor pe profilul laminat I și pe placa frontală au fost fixate segmente cu baza de 20 mm delimitate prin bile din oțel cu diametrul de 1/16", care au format rozete rectangulare, poziția segmentelor fiind la 45° unul față de altul (fig. 7.2.1)

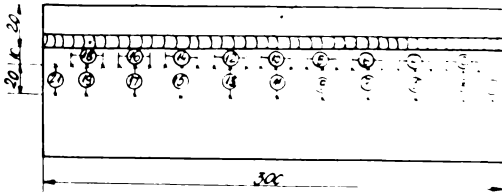


Otelu rozeta

Fig. 7.2.1.
Rozeta formată din seg-

Măsurarea deformațiilor s-a executat prin urmărirea variației lungimii inițiale a segmentelor, cu ajutorul unui extensometru mecanic, cu diviziunea de 1 μ m, corecția de temperatură fiind făcută cu un etalon din invar [100, 111, 153, 163].

Poziția segmentelor pe talpa profilului I este prezentată în fig. 7.2.2., iar pe inima acestuia în figura 7.2.3.



I. Tabla de oțel $\alpha 3^{\circ}$ 575 mm \times 300 mm
a sa profilului I 33x133x10 mm
Becavouri de sudură
Fig. 2. Poziția segmentelor pe talpa profilului I

Fig. 7.2.2.
Poziția rozetelor pe talpa
profilului I

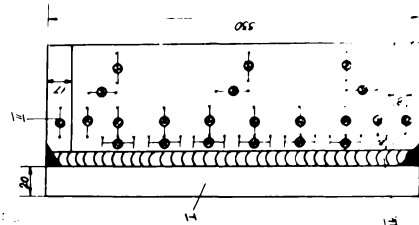


Fig. 7.2.3.
Poziția rozetelor pe inima
profilului

Poziția rozetelor pe placa frontală este prezentată în figura 7.2.4. Modul de realizare al modelului se prezintă în figura 7.2.5,

ca și reprezentarea cusăturilor de colț I, (II, II'), (III, III'), (IV, IV'), V. Regimul de sudare este prezentat în tabelul 7.2.1.

Energia liniară a fost determinată conform relațiilor [122].

Așa cum rezultă din tabelul 7.2.1. ordinea de execuție a sudurilor a fost următoarea:

- cusătura I, cu straturile 1, 2, 3, 4;
- cusătura II și II' cu straturile 1, 2;
- cusăturile III și III' cu straturile

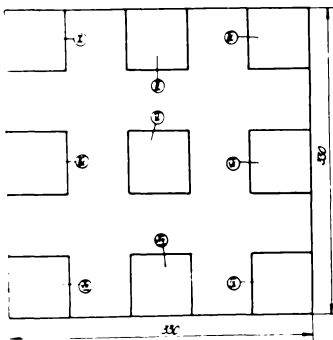


Fig. 7.2.4.
Poziția rozetelor pe placa frontală a modelului

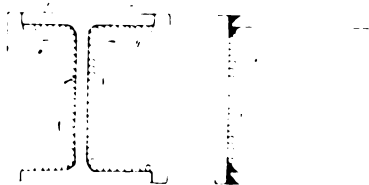


Fig. 7.2.5.
Modelul sudat din profil I(1) și placa frontală(2).
Pe talpa (3) și pe inima (4) au fost fixate seg-
mentele pentru măsurarea deformațiilor.

Tabelul 7.2.1.

Regimul de sudare aplicat la model

Cusătura sudată	Electrodul folosit		Strat de sudură	Viteza de sudare	Energia liniară
	Tip	Diametrul (mm)		(cm/s)	(J/cm)
I	Unibaz	3,25	1	0,22	8553
	Supertit T	4,0	2	0,21	11700
	Supertit T	4,0	3	0,23	11100
	Supertit T	5,0	4	0,27	9140
II	Unibaz	3,25	1	0,18	18450
	Supertit T	4,0	2	0,19	10520
II'	Unibaz	3,25	1	0,26	7570
	Supertit T	4,0	2	0,31	7200
III	Unibaz	3,25	1	0,28	7260
	Supertit T	4,0	2	0,30	7120
III'	Unibaz	3,25	1	0,27	8520
	Supertit T	4,0	2	0,20	12100
IV	Unibaz	3,25	1	0,32	6380
	Supertit T	4,0	2	0,37	3570
	Supertit T	4,0	3	0,31	4820
IV'	Unibaz	3,25	1	0,31	6120
	Supertit T	4,0	2	0,36	6030
	Supertit T	4,0	3	0,30	5050
V	Unibaz	3,25	1	0,24	7080
	Supertit T	4,0	2	0,26	9750
	Supertit T	4,0	3	0,26	8500
	Supertit T	4,0	4	0,27	8900

rile 1,2 ;

- cusăturile IV și IV', cu straturile 1,2 ;

- cusătura V cu straturile 1,2,3,4.

După executarea succesivă a cusăturilor sudate au fost efectuate măsurări ale lungimii segmentelor, urmărindu-se astfel variația acestora. Ca urmare a acestor măsurători au fost obținute deformațiile

specifice indicate în tabelul 7.2.2. pentru placa frontală și în tabelele 7.2.3 și 7.2.4. pentru profilul I, după efectuarea cusăturilor sudate. Măsurarea segmentelor s-a efectuat după executarea cusăturilor sudate, grupate după cum se arată în tabele și la 24 ore după sudare. Pe baza rezultatelor experimentale obținute se determină deformațiile specifice după executarea cusăturilor sudate și se indică de asemenea influența fiecărei îmbinări sudate executate în comparație cu îmbinarea efectuată anterior pentru a evidenția modificările survenite.

Din tabelul 7.2.2. rezultă că în placa frontală cele mai mari deformații se obțin în zona rozetelor I, III, IV, VII și VIII. Se constată și două cazuri în care deformațiile specifice sînt nule, ale segmentelor 5 și 19, după executarea îmbinării sudate V. În mod deosebit merită a fi evidențiate deformațiile mari care depășesc chiar 0,5 %, care rezultă după executarea îmbinărilor sudate, obținându-se și cel mai pronunțat efect al detensionării în timp a sudurilor, respectiv după trecerea a 24 de ore de la terminarea executării tuturor cusăturilor sudate.

Rozeta simetrică (VII) prezintă deformații mari, dar nu chiar la aceeași zonă definită prin rozeta IV. Ceea ce caracterizează ambele zone este faptul că deformațiile sînt alungiri. De reținut că efectul cel mai pronunțat al detensionării în timp, caracterizat prin cele 24 de ore trecute după terminarea operațiilor de sudare se manifestă în cazul segmentului 5 al rozetei II, efectul fiind de 0,1%.

Dacă analizăm efectul unei cusături, comparativ cu situația anterioară merită a fi evidențiate următoarele:

- după executarea cusăturilor (II, II') și (III, III') se obțin efecte maxime și anume +0,119 % la segmentul 3 al rozetei I și de +0,184 % la segmentul 21 din rozeta VII ;

- după sudarea îmbinărilor (IV și IV') în comparație cu situația precedentă s-au obținut -0,112 % la segmentul 4 al rozetei II, și -0,212 % la segmentul 24 al rozetei VIII ;

- după realizarea îmbinării V s-au obținut valorile de -0,144% la segmentul 10 din rozeta IV și de -0,125 % la segmentul 20 al rozetei VII ;

Deformațiile de pe talpa profilului I sudat la placa frontală prezintă în general valori mai mari, în mod deosebit segmentele perpendiculare la cusătura sudată de asamblare. În mod deosebit segmentul 1 prezintă contractii pronunțate cu valori cuprinse între -0,876% pînă la -1,032 %, după executarea îmbinărilor sudate I, (II, II') și

Tabelul 7.2.2.

Deformațiile specifice (%) ale segmentelor de pe placa
frentală

Seg- ment	In comparație cu situația inițială după executarea zeta		Re- zeta	Față de situația executării cusăturii precedente		După 24 ore de la sudare
	I	II, IV, III, III'		IV-IV'	V	
1	+0,039	+0,125	+0,079	+0,035	+0,065	-0,044
2	-0,244	-0,199	-0,214	-0,239	I	+0,046
3	+0,050	+0,274	+0,269	+0,279	I	+0,015
4	+0,050	+0,055	-0,010	-0,070	II	+0,119
5	+0,025	+0,039	0	0	II	-0,092
6	+0,030	+0,015	+0,010	-0,025	II	+0,085
7	+0,039	+0,119	+0,124	+0,169	III	+0,14
8	+0,025	+0,025	+0,045	-0,004	III	+0,049
9	+0,035	+0,050	+0,060	+0,085	III	+0,015
10	0	+0,025	+0,015	-0,129	III	+0,080
11	+0,390	+0,395	+0,356	+0,320	IV	+0,005
12	+0,300	+0,592	+0,597	+0,512	IV	+0,020
13	+0,601	+0,660	-0,002	-0,065	V	+0,010
14	+0,015	+0,050	+0,019	-0,025	V	+0,025
15	+0,040	+0,095	+0,035	+0,010	V	+0,031
16	+0,015	+0,085	+0,045	+0,195	VI	+0,055
17	+0,020	+0,035	-0,003	-0,075	VI	-0,060
18	+0,050	+0,095	+0,045	0	VI	+0,020
19	+0,003	+0,030	+0,085	-0,040	VII	+0,050
20	+0,140	+0,324	+0,340	+0,296	VII	-0,125
21	+0,035	+0,040	+0,085	+0,040	VII	+0,055
22	+0,035	+0,070	-0,050	-0,100	VIII	+0,016
23	+0,030	+0,075	+0,155	-0,120	VIII	+0,184
24	+0,040	+0,075	+0,035	+0,030	VIII	+0,005
25	+0,030	+0,050	+0,030	+0,035	IX	+0,045
26	+0,030	+0,020	+0,030	+0,080	IX	-0,120
27	+0,025	-0,020	+0,040	+0,015	IX	+0,035
						-0,025
						+0,060
						-0,010
						-0,010

13 ea

Deformațiile specifice(%) ale segmentelor de pe talpa
profilului I sudat la
placa frontală

Segment	In comparație cu situația inițială după executarea cusăturilor		Față de situația executării cuzăturii precedente		OBS.			
	II, III, III', III'	IV-IV'	La 24 ore după sudare (III, III')	Influența cuzăturilor sudate după 24 ore de la sudare				
1	-0,876	-0,998	-0,965	-0,156	+0,129	-0,095	-0,062	Segment
2	+0,263	+0,116	+0,136	-0,207	+0,040	0	+0,020	te per-
3	+0,176	+0,053	+0,080	-0,171	+0,058	-0,020	+0,027	pendicu-
5	+0,308	+0,400	+0,277	+0,056	+0,070	-0,045	-0,123	lare la
7	+0,248	+0,100	+0,129	-0,114	-0,020	-0,014	+0,029	cusătura
9	+0,100	+0,033	+0,035	-0,125	0	+0,014	-0,044	sudată
11	+0,283	+0,145	+0,180	-0,118	+0,034	-0,054	+0,044	
15	+0,245	+0,130	+0,165	-0,165	+0,060	-0,010	+0,035	
17	+0,205	+0,125	+0,163	-0,124	+0,044	-0,024	+0,036	
19	+0,205	+0,105	+0,166	-0,150	+0,066	-0,015	+0,060	
21	+0,060	+0,025	+0,070	-0,095	+0,065	-0,025	+0,045	
2	-0,015	-0,014	-0,075	+0,005	-0,065	+0,061	+0,061	Segment
4	-0,010	-0,155	-0,135	-0,095	-0,035	+0,095	+0,025	te pa-
6	-0,040	-0,160	-0,125	-0,080	-0,035	-0,025	+0,035	rarele
8	-0,453	-0,497	-0,374	+0,100	-0,144	+0,007	+0,156	la cusă-
10	+0,030	-0,075	+0,025	+0,025	-0,130	-0,030	+0,130	tura su-
12	-0,050	-0,133	-0,045	-0,020	-0,063	-0,223	+0,311	dată
14	-0,020	-0,124	-0,114	-0,060	-0,064	-0,025	-0,026	
16	-0,040	-0,130	-0,110	-0,060	-0,005	-0,025	-0,020	
18	-0,030	-0,115	-0,095	-0,055	-0,030	-0,005	+0,025	
23	+0,005	+0,020	-0,065	+0,045	-0,030	-0,023	-0,062	Segmente
25	+0,150	+0,080	+0,030	+0,080	+0,010	-0,072	+0,078	de lăți-
								rea tăl-
								pii

Tabelul 7.2.4.

Deformațiile specifice (%) ale segmentelor de pe inima
profilului I sudat la placa frontală

Seg- ment	Față de situația executării cusăturii OBS.			
	Y execuția (II, II') și (III, III')	V După 24 ore de la sudare	IV-IV' precedente (II, II') și (III, III')	V După 24 ore de la su- dare
43	+0,033	+0,034	+0,001	-0,042
45	-0,030	+0,050	+0,065	-0,010
47	+0,040	+0,050	+0,025	-0,015
44	+0,005	0	-0,005	+0,015
46	+0,032	+0,060	0	-0,035
48	+0,040	-0,001	-0,040	-0,034
				+0,021
				+0,025
				+0,040
				la sudată
				la sudată

Tabelul 7.2.5.

Eforturile unitare principale din profilul I (daN/mm²)

Seg- ment	Eforturile unitare sudate față de situația inițială			
	I După sudarea (II, II') și (III, III')	IV-IV'	V La 24 ore după sudare	Eforturi unitare normale principale maxime
43,44	8,425	14,423	11,308	Eforturi unitare normale principale
45,46	5,307	17,307	8,769	maxime
47,48	11,00	11,469	16,962	
43,44	3,576	-5,123	-0,808	Eforturi unitare normale principale
45,46	-4,707	15,692	-16,239	minime
47,47	11,00	3,230	4,038	
43,44	2,70	7,50	4,90	Eforturi unitare tangențiale
45,46	2,23	2,58	7,45	
47,48	2,27	4,05	6,15	

(III, III'), menținându-se ridicate și după celelalte cusături sudate (peste $-0,9\%$) și chiar după detensionarea de 24 ore a ansamblului sudat. Se înțelege că în această zonă și influența realizată de fiecare cusătură sudată este apreciabilă în comparație cu situația precedentă și anume cu valori în jurul a $-0,1\%$.

De reținut că în cazul celorlalte segmente verticale la cusătura sudată deformațiile sînt în general pozitive, ceea ce înseamnă că se produc alungiri, cu excepția a trei situații (2 la segmentul 11 și una la segmentul 21). De asemenea trebuie subliniat faptul că aceste deformații ale segmentelor verticale indică valori mai mari după executarea cusăturii I. Influența executării cusăturilor sudate în comparație cu situația creată anterior se concretizează de asemenea prin deformații cu valori apreciabile în special după executarea cusăturilor (II, II') și (III, III'), care sînt contracții în general (cu excepția segmentului 7 care este pozitivă). În schimb după executarea cusăturilor (IV, IV'), se constată că influențează în general prin deformații pozitive, situația anterior creată, cu excepția segmentului 9 care este negativă și nulă la segmentul 11, valoarea acestora fiind însă mai mică. După executarea cusăturii sudate V, influența este caracterizată prin deformații negative, cu excepția segmentului 3 care este nulă și cea a segmentului 11 care este pozitivă, cu valori de asemenea mici. Detensionarea după 24 de ore de la sudarea completă a modelului indică o influență pozitivă a deformațiilor, cu excepția segmentului 1, 7 și 11, unde se constată valori negative ale acestora.

Valori mai substanțiale se constată în cazul segmentelor 1 și 7.

Segmentele paralele la cusătura sudată indică în general contracții cu valori mai apreciabile la segmentul 8, care ajung pînă aproape de $-0,5\%$, după executarea fiecărei cusături sudate. În cazul celorlalte segmente se constată valori mai mici, după executarea cusăturii sudate I, și cu valori mai mari după efectuarea celorlalte cusături sudate, influența acestora fiind în același sens, față de situația precedentă.

Segmentele aflate pe grosimea tălpii indică în general deformații pozitive și cu valori mai mari la segmentul 25 după sudarea cusăturii I.

Pentru a urmări mai bine dinamica deformațiilor segmentelor de pe talpa profilului I se prezintă în fig. 7.2.6. variația segmentelor perpendiculare la cusătura sudată, iar în fig. 7.2.7. același lucru pentru segmentele paralele la acesta.

Din figurile 7.2.6 și 7.2.7 se constată că aliura curbilor care

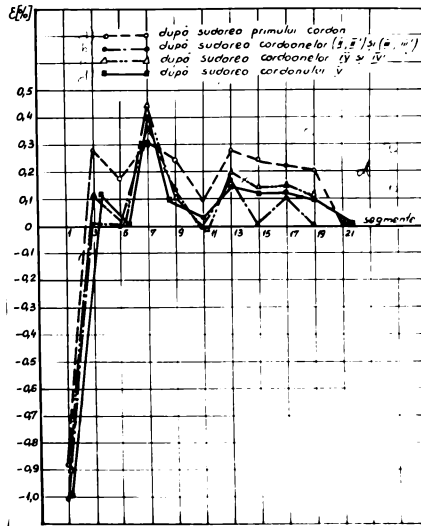


Fig.7.2.6.

Variația deformațiilor specifice ale segmentelor perpendiculare la cusătură, după executarea îmbinărilor sudate

De reținut că așezarea segmentelor pe inima profilului în apropierea îmbinărilor IV și IV' nu a permis efectuarea măsurării deformațiilor după realizarea etapizată a îmbinărilor sudate, lucru ce a fost posibil numai pentru segmentele 43-48, aflate pe rîndul următor.

Au fost stabilite eforturile normale principale maxime și minime, ca și cele tangențiale prezentate în tabelul 7.2.5.

În fig.7.2.8. se prezintă variația eforturilor unitare normale principale maxime de pe talpa profilului I după sudarea succesivă a îmbinărilor sudate, iar în fig.7.2.9. se arată variația în aceleași cazuri a eforturilor normale principale minime. Se constată că rozeta (6,7) prezintă eforturi normale principale care depășesc 40 daN/mm^2 , fiind considerate ca zone cu deformații plastice, iar rozetele (8,9) și (12,13) manifestă același lucru pentru eforturile normale principale minime. Din fig.7.2.8. rezultă că eforturile normale principale sînt în general de întindere după executarea îmbinărilor succesive,

indică variația deformațiilor este aceeași pentru fiecare segment și după executarea succesivă a îmbinărilor sudate respective, ceea ce corespunde unei comportări logice, modificîndu-se numai valoarea deformațiilor.

Din tabelul 7.2.4. rezultă că deformațiile care se află pe inima profilului I au valori mai mici. Se constată valori relativ mici ale eforturilor unitare normale principale maxime și ale celor tangențiale, stabilite analitic pe baza legii lui Hooke, cu deformații după două direcții perpendiculare

[116, 168, 98, 70, 44, 39, 111

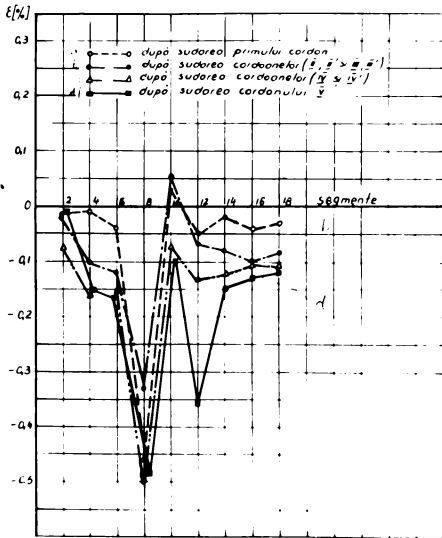


Fig.7.2.7.
Variatia deformatiilor specifice ale segmentelor paralele la cusatura, dupa executarea imbinarilor sudate

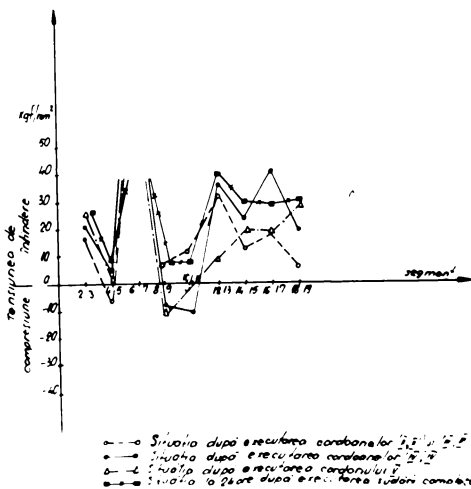


Fig.7.2.8
Variatia eforturilor principale normale maxime de pe talpa profilului I dupa executarea succesiva a imbinarilor sudate

cu exceptia zonei rozetelor(8,9) și(10,11) după executarea imbinărilor sudate(II, II') și (III, III'), ca și după sudarea cusăturii V. Din Fig.7.2.9 rezultă că eforturile principale normale minime sînt de compresiune în general, excepție făcînd zona rozetelor(10,11) și(12,13) în situația după 24 ore de la sudarea completă a modelului, cînd acestea sînt pozitive, însă cu valori mici. În situațiile care fac excepție de la comportarea generală a rozetelor, trebuie să se reconsidere semnificația alungirilor specifice în relațiile care definesc eforturile normale principale maxime și minime.

În fig.7.2.10 se prezintă variația eforturilor tangențiale maxime de pe talpa profilului I după executarea succesivă a cusăturilor sudate. Se constată tensiuni pînă la 40 daN/mm² în zona rozetei(8,9), iar valori minime în cazul rozetei(10,11).

Pentru determinarea tensiunilor unitare în placa frontală au fost utilizate relațiile care definesc legea lui Hooke generalizată [39, 44, 70, 98, 100, 111, BUPT

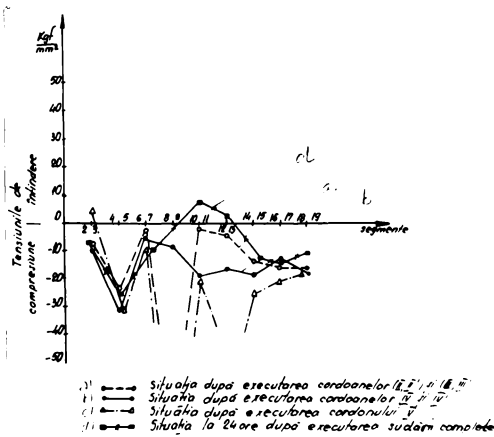


Fig.7.2.9.
 Variația eforturilor principale normale minime de pe talpa profilului I după efectuarea succesivă a îmbinărilor sudate

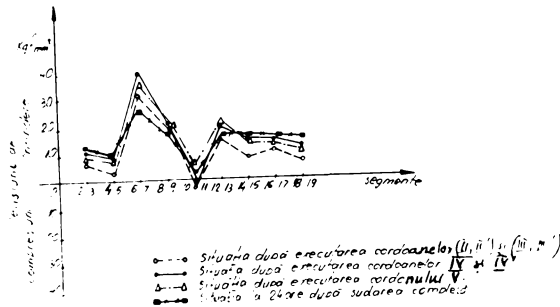


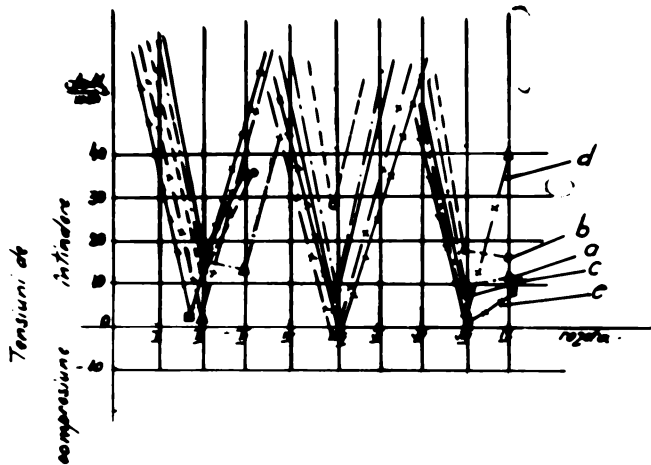
Fig.7.2.10.
 Variația tensiunilor tangențiale maxime de pe talpa profilului I

toate cazurile, iar curbele prezintă același alioră. Se constată va-

116,168] avînd în vedere că rozetele sînt alcătuite din 3 segmente așezate la 45° unul față de altul.

Deformația specifică ξ_0 se consideră ca fiind pe direcția paralelă la cusătura sudată dintre tălpile profilului și placa frontală, deformațiile specifice ξ_{45} și ξ_{90} fiind pe direcții la 45°, respectiv la 90° față de prima. În fig. 7.2.11. se prezintă curbele variației eforturilor principale normale maxime din placa frontală sudată cu profilul I, după executarea îmbinărilor sudate succesive.

Se constată tensiuni numai de întindere în



- a) —→ Situația după acustarea carbonului I
 b) - - - Situația după acustarea carbonilor (E, E') ; (E, E')
 c) —→ Situația după acustarea carbonilor E și E'
 d) —→ Situația după acustarea carbonului I
 e) —→ Situația la 24 ore după acustarea sudurii complete

Fig.7.2.11.

Variația eforturilor principale normale maxime pe placa frontală sudată la profilul I

lori minime ale acestor tensiuni la rozetele II, V, VIII, zone rigidizate datorită inimii profilului I. Zonele cu rozetele I, IV și VII prezintă valori maxime, care depășesc 40 daN/mm^2 fiind în domeniul plastic. Aceste rozete se găsesc la margine, așezate una sub alta. Marginea opusă oferă tensiuni în jurul a 40 daN/mm^2 .

Analizând curbele de variație ale eforturilor principale normale minime din placa frontală, prezentate în fig. 7.2.12. se constată următoarele:

- + rozeta I prezintă în toate cazurile tensiuni numai de compresiune ;
- rozetele III, IV și VII prezintă tensiuni numai de întindere ;
- rozetele II, V, VI, VIII și IX prezintă în anumite cazuri tensiuni de întindere și de compresiune ;
- rozeta IV prezintă dispersia cea mai pronunțată a valorilor, după sudarea îmbinărilor (II, II') și (III, III') și (IV, IV'). Aceste valori depășesc 40 daN/mm^2 , care se micșorează după executarea cusăturii a V-a. Această rozetă prezintă valori mari și în cazul tensiuni-

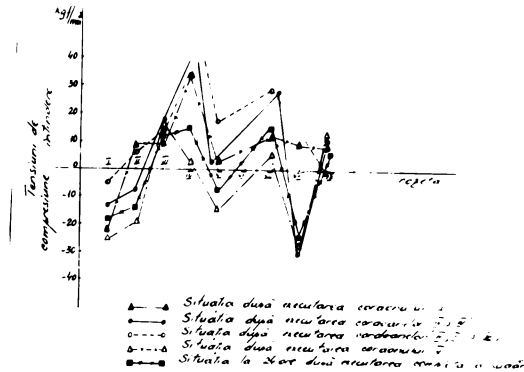


Fig.7.2.12.

Variația eforturilor principale normale minime pe placa frontală sudată la profilul I . .

lor principale normale maxime. In fig.7.2.13 se prezintă variația eforturilor tangențiale în cazurile create după executarea îmbinărilor sudate succesive. Se constată următoarele :

- valori care depășesc 40 daN/mm^2 în cazul rozetelor I și IV, iar pînă la 40 daN/mm^2 rozeta VII ;

- valori minime și grupate prezintă rozetele II, V și VIII, care se găsesc una sub alta și corespunde inimii profilului I sudat.

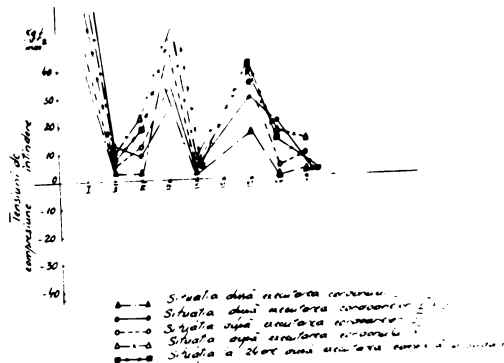


Fig. 7.2.13.
Variația eforturilor principale tangențiale
din placa frontală sudată la profilul I

Rozeta IX prezintă de asemenea o grupare a valorilor ;

- toate tensiunile sînt pozitive.

În tabelul 7.2.6. se arată variația valorilor pentru unghiul φ la fiecare rozetă și în cazurile create după executarea cusăturilor sudate succesive. Unghiul φ reprezintă direcția eforturilor principale normale maxime, față de direcția deformațiilor ε_0 inițiale

Tabelul 7.2.6.

Variația unghiului φ în cazurile analizate

Rozeta	Valoarea unghiului I	după executarea cusăturilor (II, II')+(III, III')	după executarea cusăturilor (IV+IV')	V
I	48°25'25"	39°30'34"	38°5'	37°59'30"
II	28°9'6"	5°40'	6°30'	30°30'12"
III	40°15'16"	28°30'25"	27°20'45"	35°30'37"
IV	6°30'43"	8°30'	4°30'23"	11°24'
V	82°7'30"	43°22'	3°30'32"	1°30'42"
VII	31°30'30"	28°30'46"	18°17'	26°10'57"
VIII	22°30'	55°30'18"	86°26'16"	71°35'
IX	9°12'30"	77°20'37"	54°13'30"	60°29'15"

Se constată zone în care variația unghiului este mai puțin evidentă cum este cazul rozetelor I și IV.

În schimb în cazul celorlalte rozete se constată modificări esențiale ale unghiului φ ca în cazul rozetelor II, V, VIII, IX. Valori mici ale unghiului φ are semnificația că direcția eforturilor principale normale maxime sînt mai aproape de direcția segmentelor nota-

te cu ε_0 inițiale. De asemenea se observă zone ca exemplu cea corespunzătoare rozetei I, când după efectuarea cusăturilor sudate succesive nu se produc modificări esențiale a direcției ef rturilor principale maxime. În schimb în zona rozetei II se constată o modificare mai esențială a acestei direcții, după executarea cusăturii I, ca după efectuarea celorlalte cusături sudate această direcție să se apropie de direcția inițială a deformațiilor specifice σ_0 .

În aceeași zonă după realizarea îmbinării sudate V, situația să revină aproape ca aceea după executarea cusăturii I.

În continuare cercetarea a fost continuată pe un alt model realizat în mod similar, însă fără a se mai efectua întreruperi ale sudării pentru măsurarea deformațiilor după fiecare strat.

Modul de amplasare al segmentelor pe talpa profilului I laminat se prezintă în fig. 7.2.14, iar în fig. 7.2.15 se arată același lucru pentru inima profilului. Baza de măsură a segmentelor este 20 mm, di-

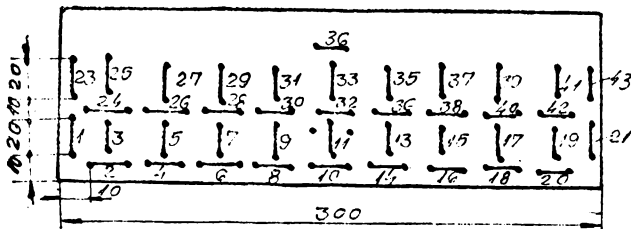


Fig. 7.2.14.

Fig. 7.2.14.
Amplasarea segmentelor pe
talpa profilului I

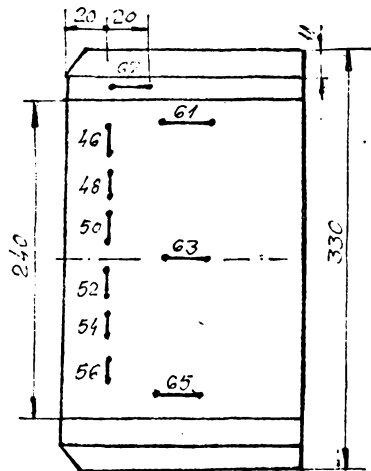


Fig. 7.2.15.
Amplasarea segmentelor pe inima
profilului I

namica deformațiilor fiind stabilită cu ajutorul extensometriei mecanice. Pe placa frontală au fost fixate patru rozete notate I-IV în colțurile acesteia, iar alte segmente au fost amplasate pe direcțiile axelor de simetrie ale acesteia (vezi fig. 7.2.16). Rozetele I-IV sînt rectangulare cu aceeași bază de măsură.

Măsurarea segmentelor s-a efectuat înainte și după completa sudare. Tehnologia de sudare și modul de realizare al cusăturilor sudate au fost ca în cazul precedent. Regimul de sudare este prezentat în tabelul 7.2.7.

Se înțelege că în acest caz modul de executare al cusăturilor

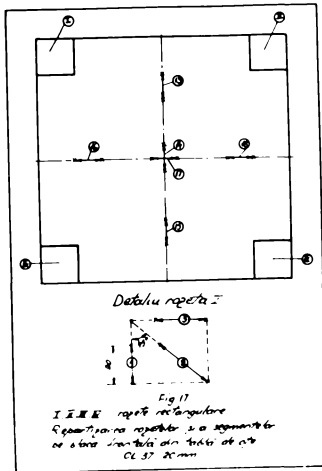


Fig. 7.2.16.

Modul de amplasare al rozetelor I-IV și a segmentelor singulare pe placa frontală ține un maxim la segmentul 39 cu valoarea de +0,496 %, iar segmentul 31 are deformația specifică de +0,244 %.

sudate s-a putut desfășura în mod normal, ne mai fiind întrerupt prin timpul afectat pentru efectuarea măsurărilor deformațiilor suferite de segmentele amplasate pe elementele sudate.

În fig. 7.2.17 se prezintă deformația specifică pentru segmentele perpendiculare la cusătura sudată, care se află pe talpa profilului I. În ceea ce privește segmentele de pe primul rând prezintă deformații specifice mai mari ca 0,2 % la segmentul 9, care ajunge până la +1,162%

iar în al doilea rând se ob-

Tabelul 7.2.7.

Regimul de sudare al modelului

Imbinarea	Electrodul Tip	Diametrul de sudură (mm)	Strat de sudură	Viteza de sudare (cm/s)	Energia liniară (J/cm)
I	Unibaz	3,25	1	0,210	7180
	Supertit T	4,0	2	0,300	7600
	Supertit T	4,0	3	0,200	11500
	Supertit T	5,0	4	0,240	7130
II	Unibaz	3,25	1	0,230	8170
	Supertit T	4,0	2	0,209	9800
II'	Unibaz	3,25	1	0,214	9880
	Supertit T	4,0	2	0,207	11100
III	Unibaz	3,25	1	0,292	7000
	Supertit T	4,0	2	0,300	9500
III'	Unibaz	3,25	1	0,307	6620
	Supertit T	4,0	2	0,279	10600
IV	Unibaz	3,25	1	0,333	6120
	Supertit T	4,0	2	0,350	7000
	Supertit T	4,0	3	0,333	5420
IV'	Unibaz	3,25	1	0,322	6170
	Supertit T	4,0	2	0,362	6652
	Supertit T	4,0	3	0,324	5580
V	Unibaz	3,25	1	0,181	10900
	Supertit T	4,0	2	0,208	11850
	Supertit T	4,0	3	0,224	11400
	Supertit T	5,0	4	0,248	11600

De remarcat că segmentul 31 corespunde într-o zonă aflată în prelungirea celei definite de segmentul 9. De asemenea trebuie remarcat faptul că toate deformațiile specifice sînt de întindere, cu excepția segmentului 13 la primul rînd, cu o valoare de -0,2 %.

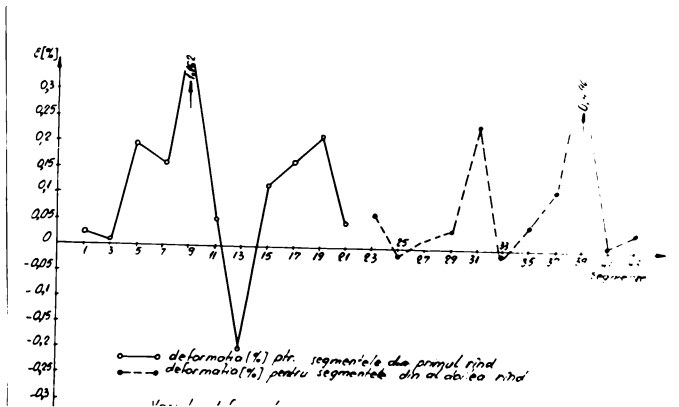


Fig.7.2.17
Variația deformațiilor specifice a segmentelor
de pe talpa profilului I, perpendiculară la cu-
sătura sudurii

Segmentul 25 cu o valoare mai mică de $-0,01\%$ și segmentul 35 cu o valoare foarte mică de $-0,00995\%$.

In figura 7.2.18 se arată variația deformațiilor specifice ale

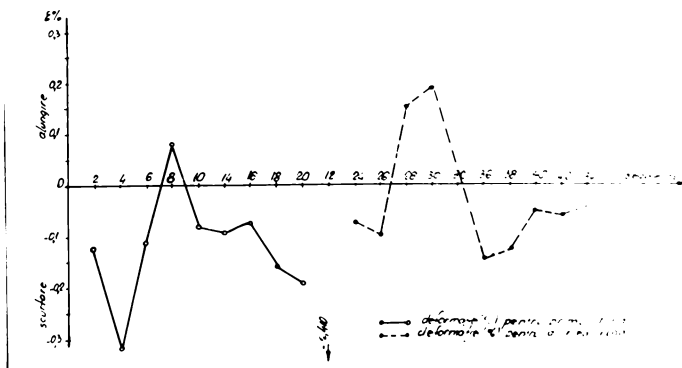


Fig.7.2.18.
Variația deformațiilor specifice ale segmentelor
de pe talpa profilului I paralelă la cusătura su-
dată

segmentelor de pe talpa profilului I paralelă la cusătura sudată. In acest caz se constată că deformațiile specifice sînt în general de contracție, excepție făcînd segmentul 8 de pe primul rînd care este pozitivă avînd valoarea de $+0,0805\%$, iar la rîndul al doilea segmentele 28 și 30 prezintă deformații pozitive cu valorile de $+0,155\%$, respectiv $+0,185\%$. De reținut că segmentul 8 corespunde cu segmentul 9, iar segmentul 30 corespunde cu segmentele 8 și 9 din primul rînd.

Deformația specifică cea mai pronunțată este la segmentul 4 din primul rînd, cu valoarea de $-0,326\%$. Celelalte deformații specifice sînt de compresiune cu valori pînă la $-0,2\%$.

In fig. 7.2.19 se arată variația eforturilor normale principale

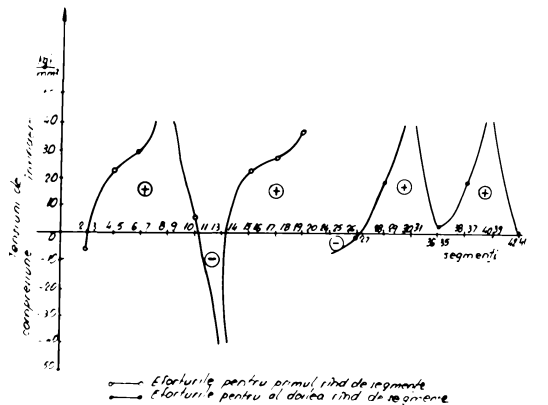


Fig. 7.2.19
 Variația eforturilor principale normale maxime
 de pe talpa profilului I

maxime din talpa profilului I. Se constată comportări plastice în cazul rozetelor (8,9), care indică eforturi de întindere, ca și în cazul rozetei (13,14) care se găsește în cazul tensiunilor negative.

În rîndul al doilea comportări plastice se constată la rozetele (30,31) și (40,39) ambele în domeniul tensiunilor pozitive. În general tensiunile sînt de întindere, cu excepția rozetei (2,3) cu o valoare negativă sub -10 daN/mm^2 din primul rînd, iar în al doilea rînd se găsesc tensiuni negative la rozetele (24,23) și (26,27) cu valori de asemenea mici sub -10 daN/mm^2 . În același rînd se constată valori minime la rozetele (36,35) și (42,41).

Dacă se analizează tensiunile normale principale minime de pe

talpa profilului I se constată eforturi în general de compresiune fig.7.2.20.

Se constată în domeniul tensiunilor negative o comportare plastică la rozeta(4,5), iar în domeniul tensiunilor pozitive același lucru pentru rozeta(8,9), de altfel singura în acest domeniu. În rândul al doilea se constată stări plastice în cazul rozetelor(26,29) și (30,31). Se mai constată valori pozitive ale tensiunilor și în cazul rozetei(39,40). Aceste comportări sînt în concordanță cu cele prezentate în ceea ce privește tensiunile normale principale maxime.

Cazul tensiunilor tangențiale principale din talpa profilului I este prezentat în figura 7.2.21. Se constată valori ale tensiunilor

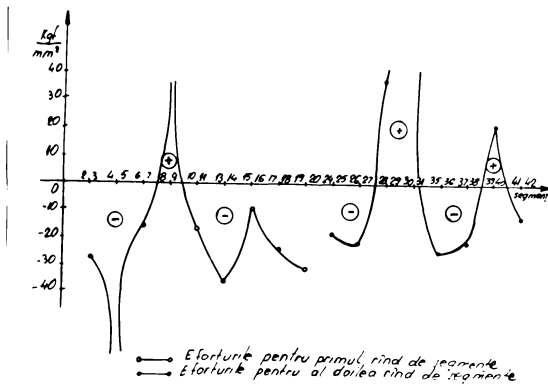


Fig.7.2.20.

Variația eforturilor normale principale minime de pe talpa profilului I

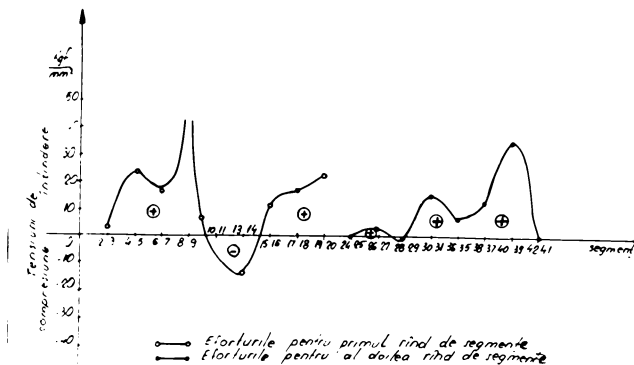


Fig.7.2.21.

Variația eforturilor tangențiale principale din talpa profilului I

care se referă în domeniul plastic cazul rozetei (8,9) din primul rând. În primul rând tensiunile tangențiale principale sînt de întindere în general, excepție fiind cazul rozetelor(10, 11) și(13,14) care sînt în domeniul eforturilor negative. În rândul al doilea se constată valori mule la rozetele(24, 25), (28,29) și(42,41), iar rozeta (26,27)pre-

zintă valori sub 5 daN/mm^2 . În rest tensiuni pozitive cu valoarea maximă la rozeta (40,39).

Pe inima profilului se constată deformații specifice și tensiunile din tabelul 7.2.8.

În tabelul 7.2.9. se prezintă variația deformațiilor și a eforturilor unitare principale pentru placa frontală cu grosimea de 20 mm și sudată cu profilul laminat I.

Tabelul 7.2.8.

Variația deformațiilor specifice și a eforturilor unitare din inima profilului I

Segmentele perpendiculare la cusătură			Segmentele paralele la cusătură		
Segment	Deformația specifică (%)	Efort unitar (daN/mm^2)	Segment	Deformația specifică (%)	Efort unitar (daN/mm^2)
61	+0,1192	+25,03	46	-0,020	-4,20
63	+0,055	+11,55	48	-0,613	-
65	+0,020	+ 4,20	50	+0,070	+14,70
67	+0,215	+24,15	52	-0,050	-10,50
			54	-0,052	-10,92
			56	-0,100	-21,00
			62	+0,492	-
			64	-0,623	-
			66	+0,002	- 0,42

Segmentele sînt singulare și eforturile unitare se calculează folosind relația :

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

Se constată deformații specifice cu valori mari în cazul segmentelor 48 și 64, care sînt negative cu valoarea de -0,6 %, iar segmentul 62 prezintă o alungire specifică mare de 0,5 %.

Tabelul 7.2.9.

Variația deformațiilor specifice și eforturile unitare principale din placa frontală

Segment (rozeta)	Deformația specifică (%)	Eforturile unitare principale (daN/mm^2)			Unghiul φ
		maxime	minime	tangentele	
1	+0,508	domeniul plastic			
2 (I)	+0,040				
3	-0,1865				
4	-				
5 (II)	-0,115	domeniul plastic			
6	-0,1395				
7	-0,0204	-5,985	-17,745	5,655	$54^\circ 30' 45''$
8 (III)	-0,005				
9	+0,067				
10	-0,354				
11 (IV)	0	domeniul plastic			
12	+0,0352				

Segment (rozeta)	Deformația specifică (%)	Eforturile unitare principale		Unghiul φ
		maxime	normale minime (daN/mm ²)	
13	+0,261	+54,81		
14	-0,015	- 3,15		
15	+0,0717	+ 4,56		S-a aplicat relația
16	+0,0583	+12,24		$\sigma = \varepsilon \cdot E$
17	-0,0735	-15,43		Baza de măsură 60 mm
18	-0,0835	-17,54		

Din tabelul 7.2.9. rezultă că în zonele definite prin rozetele I, II și IV deformațiile sînt în domeniul plastic. În schimb numai rozeta III are deformații specifice mai mici decît 0,2 %, ceea ce a permis aplicarea legii lui Hooke generalizată. Celelalte segmente individuale cu baza de măsură de 60 mm așezate după direcția axei de simetrie orizontală (segmentele 16, 17, 18) prezintă în general deformații specifice mai mici decît 0,2 %, cu excepția segmentului 13. De reținut că în zona centrală a plăcii (segmentele 14 și 17) deformațiile specifice sînt negative după ambele axe de simetrie, situație normală.

Dacă se compară rezultatele obținute pe cele două modele se constată că în colțuri se obțin în general stări plastice de deformare, existînd numai unul din acestea în domeniul elastic. În zona centrală se găsesc deformații minime în ambele cazuri.

Din compararea rezultatelor obținute în cele două cazuri, pe două modele diferite, realizate în principiu după aceeași tehnologie însă se înțelege cu regimuri de sudare nu identice se poate deduce că sînt obținute rezultate comparabile. Regimul de sudare este mult influențat de viteza de sudare, prin faptul că la sudarea manuală este dificil de a se realiza efectiv aceleași viteze de sudare, menținîndu-se relativ constante tensiunea arcului și curentul de sudare. Prin variația vitezei de sudare se modifică energia liniară, respectiv căldura introdusă în metal. Se cunoaște influența căldurii introdusă atît la încălzire, cît mai ales la obținerea anumitor viteze de răcire [151].

Cu toate acestea se poate arăta că sînt obținute deformații și respectiv eforturi unitare comparabile ca valori, deși repartizarea lor pe elemente nu este chiar aceeași, pentru motivele arătate mai sus. Trebuie avut în vedere că și cusăturile sudate la cele două modele au fost realizate în condiții deosebite, în sensul că la primul

caz, îmbinările sudate intermediare au fost executate după un timp îndelungat necesar măsurării deformațiilor tuturilor segmentelor, ceea ce a permis răcirea completă a metalului. La al doilea model nu s-au mai întâlnit aceste situații, având în vedere că măsurarea deformațiilor s-a efectuat după sudarea completă a tuturilor îmbinărilor.

Urmărirea deformațiilor după executarea îmbinărilor sudate intermediare permite a se determina valoarea limită a acestora, permițând a fi cunoscute starea de tensiune creată în situațiile intermediare, de a stabili zonele rigide (plastice), cele elasto-plastice și elastice.

Cunoscând aceste stări limită se poate face aprecieri interesante asupra zonelor care prezintă pericol în ceea ce privește solicitarea mai severă, respectiv pericolul ruperii materialului de bază sau al îmbinărilor sudate.

Cunoscând valoarea unghiului φ al direcției eforturilor normale principale se poate aprecia cum se modifică acestea în diferite situații, în comparație cu sistemul de referință inițial.

Rezultatele obținute pe modele prezintă interes și elucidează o serie de probleme, însă acestea nu elimină continuarea cercetărilor pe construcțiile sudate.

7.3. Analiza deformațiilor și a tensiunilor la partea frontală a locomotivei Diesel-electrice LDE 1250 C.F.

Problema a fost în a determina experimental valoarea deformațiilor și a tensiunilor la partea frontală a locomotivei diesel-electrice L.D.L.1250 C.F.

Deformațiile au fost măsurate folosind extensometria mecanică prezentată în cap.4. Rozetele au fost alcătuite din segmente perpendiculare între ele, baza de măsură a acestora fiind aleasă cu valorile de 20, 60 și 100 mm. Lungimea segmentelor a fost delimitată prin bile de oțel cu diametrul de 1/16". Măsurarea lungimii segmentelor s-a executat cu extensometrul mecanic sistem Pfender.

Cercetarea s-a executat pe un model la mărimea naturală, deformațiile segmentelor fiind determinate în mai multe situații și anume:

- starea inițială a fost considerată aceea când elementele componente ale subansamblului au fost prinse în suduri scurte (hafturi);
- starea finală s-a considerat ca după sudarea completă a subansamblului și eliberarea din dispozitivul de sudare.

Condițiile de sudare au fost identice conform tehnologiei de sudare a subansamblului. Lucrarea s-a executat manual, în dispozitiv.

După sudarea completă și eliberarea subansamblului din dispozitiv nu au mai fost executate operații suplimentare pentru eliberarea tensiunilor, prin aceasta imprimându-se măsurătorilor un caracter nedistructiv.

Subansamblul sudat al plăcii frontale este prezentat în figura 7.3.1. Modul de amplasare al segmentelor care alcătuiesc rozetele pentru măsurarea deformațiilor se prezintă în fig. 7.3.2. pentru peretele tă exterior (3) și interior (4) și în figura 7.3.3 pentru pereții rali dreapta și stânga, exteriori și interiori (2, 3, 5 și 6).

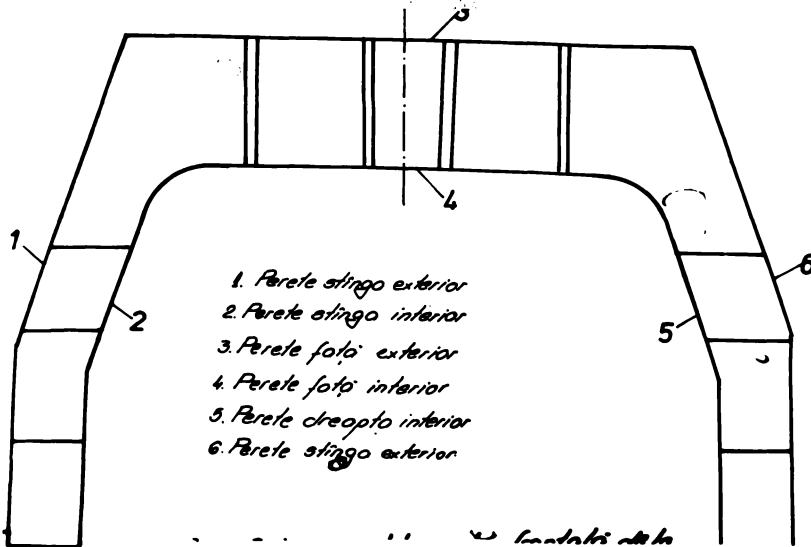


Fig. 7.3.1.

Subansamblul plăcii frontale

În tabelul 7.3.1. se prezintă valoarea lungimii segmentelor pentru fiecare rozetă în stare inițială, după sudarea și eliberarea ansamblului sudat din dispozitivul de sudare.

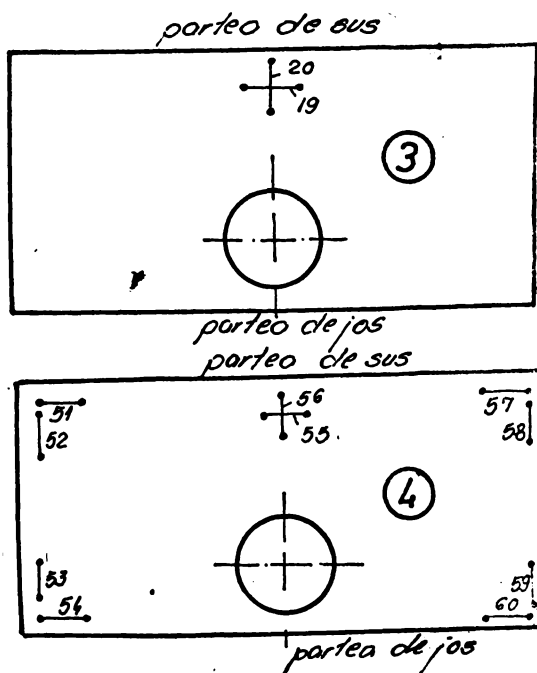


Fig. 7.3.2.

Modul de amplasare al segmentelor pentru măsurarea deformațiilor la peretele față

perpendicularare pe primele, respectiv verticale.

Scheletul metalic inferior al locomotivei diesel-electrice LDE 1250 C.D. a fost cercetat în ansamblu prin modelare fotoelastică.

Placa frontală ca parte componentă a scheletului metalic inferior a fost cercetată prin modelarea fotoelastică.

Pentru studiul tensiunilor s-a aplicat metoda înghețării eforturilor, bazată pe încălzirea și repolimerizarea rășinii, din care s-a executat modelul. Astfel starea de tensiune creată în model prin solicitarea mecanică a acestuia este „înghețată”.

Sensibilitatea optică $S=0,44 \text{ kgf/cm}$ ordin. Modelul fotoelastic a fost executat din rășină cu întărire la rece Araldit D și întăritorul HY 951, în proporție 10:1.

Plăcile componente ale modelului fotoelastic au avut grosimile de 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,5; 2 și 4 mm.

Valorile izocromatelor au fost măsurate într-o instalație de lumină polarizată cu radiație albă și monvercromatică ($\lambda = 5893 \text{ \AA}$) cu compensație după Senermón.

Din tabelul 7.3.1. rezultă următoarele date:

- deformația segmentului în μm ;
- deformație specifică (%).

Pe baza legii lui Hooke în cazul tensiunilor plane

) au fost determinate și tensiunile rezămente din subsamblul sudat, considerând starea de tensiune inițială (după haftuirea elementelor componente) și după eliberarea din dispozitivul de sudat. Valoarea acestora se prezintă tot în tabelul 7.3.1.

Segmentele notate cu „o” sînt orizontale, iar cele notate cu „v” sînt

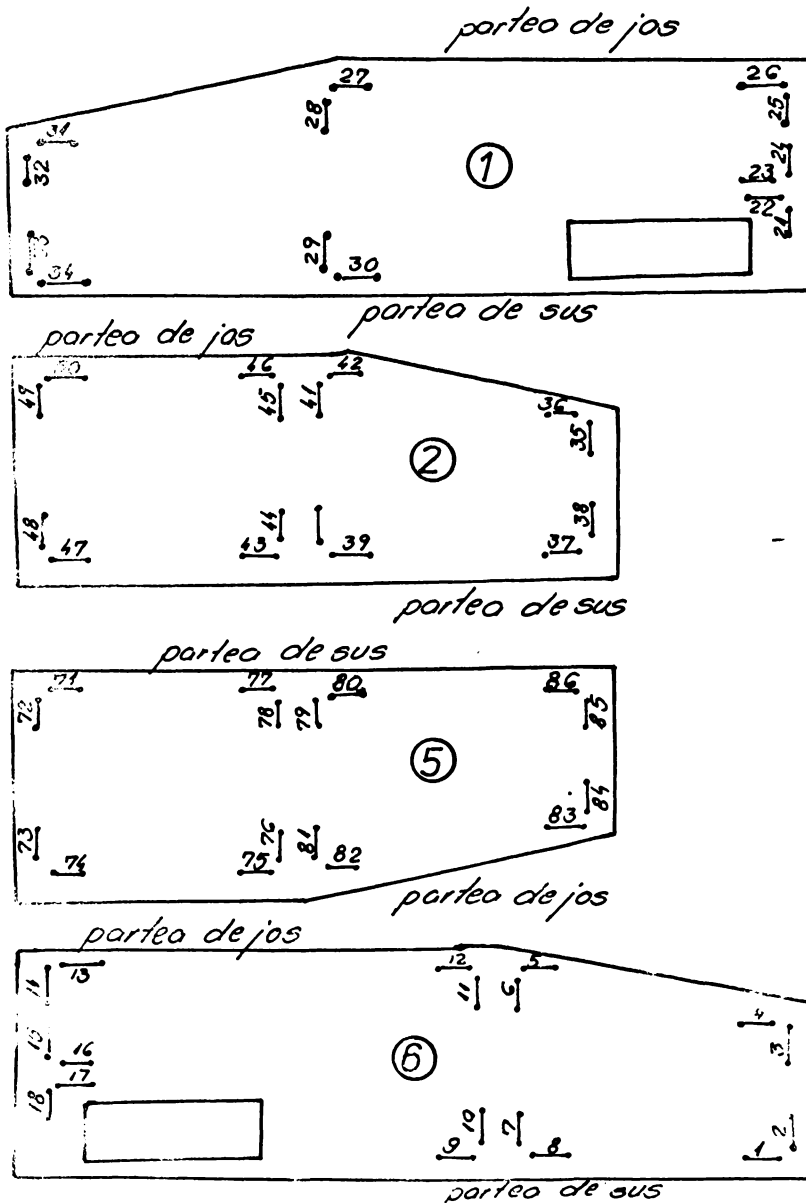


Fig. 7.3.3.

Modul de amplasare al rozetelor pentru pereții exteriori laterali stînga și dreapta

Prin studiul fotoelastic al părții frontale au fost obținute datorită geometriei acesteia și a solicitărilor mecanice statice, tensiuni ea ordin de mărime după cum se prezintă în tabelul 7.3.2.

Tabelul 7.3.1.

Deformațiile segmentelor rozetelor de pe partea
frontală a locomotivei LDE 1250 C.P.

Seg- ment	Po- zi- ția	Starea inițială	După suda- re și elibe- rarea din dispozitiv	Deforma- ția ($\pm \mu m$)	$\varepsilon(\%)$	Eforturile principale (daN/mm^2)
0	1	2	3	4	5	6
1	0	20,254	20,195	-59	-0,292	plastic
2	v	20,111	20,113	+2	+0,009	-22,29
3	v	20,094	20,120	+26	+0,129	
4	0					
5	0	59,978	59,653	-325	-0,543	plastic
6	v	59,917	59,834	-83	-0,139	plastic
7	v	99,927	99,962	+35	+0,035	-21,8
8	0	100,008	99,923	-85	-0,084	+13,8
9	0	99,984	100,041	+57	+0,057	+16,6
10	v	99,880	99,629	-51	-0,031	-15,71
11	v	59,955	59,961	+26	+0,043	-30,20
12	0	59,927	59,856	-71	-0,118	+18,09
13	0	99,952	99,842	-110	-0,115	-36,44
14	v	100,014	100,159	+145	+0,143	+40,96
15	v	100,066	99,993	-73	-0,073	-6,44
16	0	100,137	100,131	-6	-0,006	-17,26
17	0	100,046	100,039	-7	-0,007	-13,87
18	v	100,068	199,890	-178	-0,177	-41,33
19	0	100,020	99,940	-80	-0,080	-21,78
20	v	100,020	99,972	-48	-0,048	-16,62
21	v	99,919	99,904	-15	-0,017	+8,09
22	0	100,065	100,095	+30	+0,030	-6,00
23	0	100,083	100,116	+33	+0,035	+13,36
24	v	99,829	99,746	-83	-0,083	-21,44
25	v	100,251	100,158	-93	-0,093	-26,98
26	0	99,916	99,828	-88	-0,089	-27,62
27	0	99,938	99,849	-89	-0,089	-21,99
28	v	100,033	100,054	+21	+0,021	+11,00
29	v	100,164	100,146	-18	-0,018	-5,63
30	0	99,856	99,837	-19	-0,019	-5,47
31	0	100,136	100,065	-71	-0,071	-19,94
32	v	99,996	99,988	-8	-0,008	-6,76
33	v	100,063	99,945	-120	-0,120	plastic
34	0	100,062	99,878	-184	-0,184	plastic
35	v	100,007	99,995	-12	-0,012	-13,75
36	0	100,052	99,996	-56	-0,056	-6,65
37	0	100,027	99,855	-172	-0,172	-42,05
38	v	100,159	100,125	-34	-0,034	-19,75
39	0	99,971	99,998	+27	+0,027	+17,72
40	v	100,032	99,866	-166	-0,166	-40,18
41	v	100,125	100,078	-47	-0,047	-28,41
42	0	100,049	99,940	-109	-0,109	-18,39
43	0	99,937	100,039	+102	+0,102	
44	v	99,992	-	-	-	-
45	v	100,153	100,153	-	-	-1,20
46	0	100,170	100,018	-152	-0,152	-35,6
47	0	100,171	99,971	-200	-0,200	plastic
48	v	100,090	99,893	-197	-0,197	plastic
49	v	99,992	99,662	-330	-0,330	-38,08
50	0	100,266	100,200	-66	-0,066	plastic

0	1	2	3	4	5	6
51	0	100,032	100,035	+ 3	+0,003	+ 6,78
52	v	100,003	99,915	- 88	-0,088	-20,52
53	v	100,133	100,097	- 36	-0,036	+ 6,18
54	0	99,960	99,985	+ 16	+0,016	- 9,42
55	0	100,075	99,729	-246	-0,246	-12,74
56	v	99,792	99,690	-102	-0,102	-25,24
57	0	99,928	-	-	-	-
58	v	100,019	99,873	-146	-0,146	-
59	v	100,102	100,061	- 41	-0,041	-
70	0	99,976	-	-	-	-
76	v	99,893	99,849	- 44	-0,044	-
77	0	99,940	100,042	+102	+0,102	+29,22
78	v	99,883	99,801	- 82	-0,082	-25,98
79	v	100,135	100,117	- 18	-0,018	+10,94
80	0	99,863	99,905	+ 42	+0,042	- 7,06
81	v	100,105	99,923	- 82	-0,082	plastic
82	0	100,344	100,021	-323	-0,323	-41,29
83	0	100,145	100,103	- 42	-0,042	-10,25
84	v	100,136	100,144	+ 8	+0,008	+ 4,75
85	v	99,820	99,783	- 37	-0,037	plastic
86	0	100,127	99,924	-203	-0,203	-22,59

Tabelul 7.3.2.

Domeniile tensiunilor normale și tangențiale
determinate pe modelul fotoelastic-pentru partea frontală
de la LDE 1250 C.P.

Zona cercetată	daN/mm ²			
	Tensiunea normală		Tensiunea tangențială	
	minimă	maximă	minimă	maximă
Placa de bază a plăcii frontale-exterior	2,18	13,08	3,27	8,17
Idem - interior	2,18	19,00	2,70	8,72
Placa superioară a plăcii frontale-exterior	0	15,26	0	6,54
Idem - interior	2,18	14,17	0	8,17

Greutatea modelului fotoelastic al scheletului metalic inferior a fost de 2,85 kg, în comparație cu greutatea aceluiași schelet la mărime naturală și executat din oțel care este de cca.9500 kg.

Tensiunile rezultate pe model, susceptibile de o eroare de cca. 10 %, au la bază geometria modelului fotoelastic, determinată pe baza similitudinii și solicitărilor mecanice indicate de proiectant.

Se înțelege că aceste tensiuni nu au în vedere tensiunile remanente ca urmare a procesului de sudare. Valoarea acestor tensiuni este prezentată în tabelul 7.4.1. și au fost determinate prin măsurarea experimentală a deformațiilor.

Având în vedere rezultatele obținute se pot deduce următoarele concluzii:

- tensiunile determinate prin modelarea fotoelastică sînt în general mici, avînd în vedere solicitările statice ale scheletului metalic inferior. În total pentru partea frontală au rezultat 15 valori ale tensiunilor normale peste 10 daN/mm^2 , din care 3 de compresiune, restul fiind de întindere ;

- majoritatea deformațiilor sînt contractii și anume 71,8 % pentru segmentele orizontale și 79,7 % pentru cele verticale ;

- valorile deformațiilor specifice sînt în general mici, sub 0,05 % pentru ambele direcții. Numai 6 valori depășesc valoarea de 0,2 %, care corespunde domeniului plastic, ceea ce reprezintă numai 0,09 %. Celelalte valori ale deformațiilor specifice confirmă că acestea se găsesc în domeniul elastic ;

- tensiunile normale principale în domeniul plastic se găsesc la colțurile pereților laterali și prezintă în general simetrie. Valoarea acestor tensiuni depășește 30 daN/mm^2 .

7.4. Cercetarea tensiunilor remanente din traversa utilizată la ridicarea în porturi a locomotivelor magistrale

Tinînd cont de exportul de locomotive magistrale, întreprinderea Electroputere a avut obligația de a asigura o traversă care să asigure ridicarea locomotivelor de la sol pe navele maritime de transport.

În fig.7.4.1. se prezintă ansamblul traversei pentru ridicarea locomotivelor în porturi.

Pentru optimizarea proiectării constructive s-a apelat la modelarea fotoelastică.

Modelul fotoelastic a fost executat din rășină Araldit D la scala dimensiunilor $\alpha = 10$. Sensibilitatea materialului din model a fost de $0,3 \text{ daN/cm.ordin}$. Modelul a fost solicitat static, funcție de solicitarea traversei în două cazuri :

- pentru $F_{O_1} = 176.000 \text{ daN}$, $\beta = 100.000$;
- pentru $F_{O_2} = 126.000 \text{ daN}$, $\beta = 73.000$.

Pe baza cercetărilor efectuate pe modelul fotoelastic au rezultat următoarele:

- în placa superioară tensiunile tangențiale nu au depășit 1500 daN/cm^2

- în peretele lateral tensiunea maximă a fost de 1420 daN/cm^2

- în talpa superioară valoarea tensiunilor nu a depășit 1280 daN/cm^2

- în talpa inferioară nivelul tensiunilor nu a depășit 1700 daN/cm^2

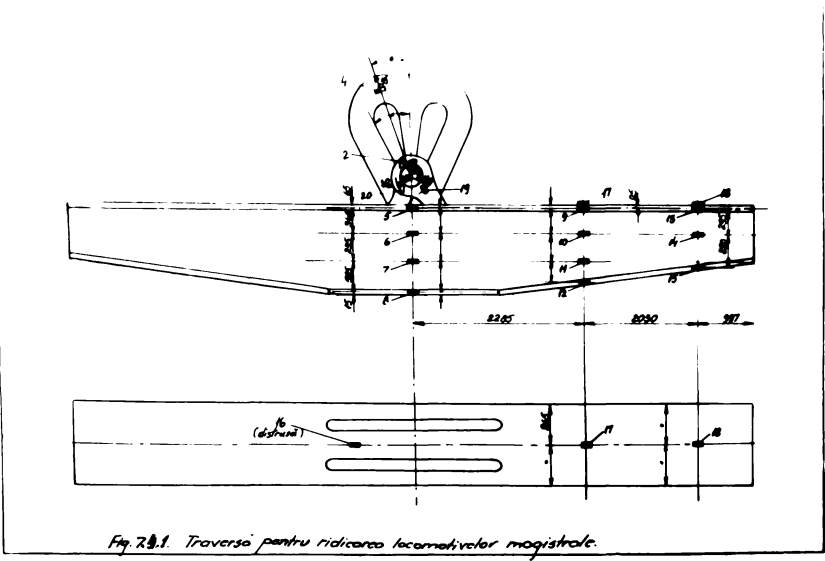


Fig. 7.8.1. Traversa pentru ridicarea locomotivelor magistrale.

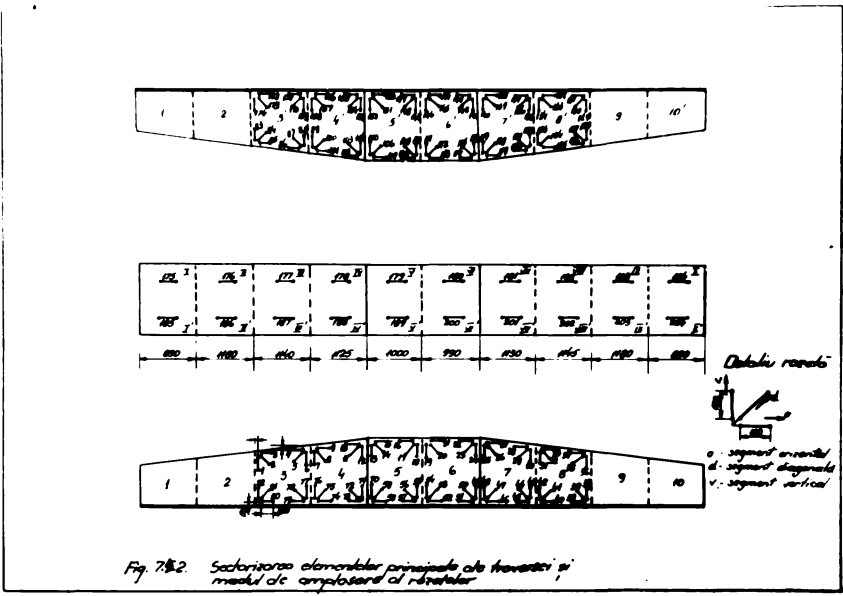


Fig. 7.8.2. Sectorizarea elementelor principale ale traversii și modul de amplasare al rășinetelor.

Nivelul tensiunilor din elementele componente ale traversei se referă la solicitările statice indicate de proiectant.

În continuare, luând în considerare principiile proiectării constructiv-tehnologice s-a cercetat nivelul deformațiilor rezultate ca urmare a procesului de sudare.

Măsurarea deformațiilor s-a făcut pe baza extensometriei mecanice. În acest scop cei doi pereți laterali ai traversei au fost împărțiți în 10 sectoare notate cu 1 ... 10 pentru o față, respectiv 1' .. . 10' pentru cealaltă față.

Suprafața plană superioară a traversei a fost de asemenea divizată în zece zone notate cu I ... X pentru partea corespunzătoare peretelui lateral cu sectoarele notate cu 1 10, respectiv I'...X' pentru cealalt perete lateral cu zonele 1' ... 10' (fig.7.4.2).

În fig.7.4.2. se prezintă și rozeta rectangulară, având segmentele decalate la 45° , care au fost utilizate pentru măsurarea deformațiilor pe pereții laterali, în sectoarele 3 ... 8, respectiv 3' .. . 8'. Pe talpa superioară plană a traversei au fost așezate segmentele pe direcțiile paralele, de-a lungul traversei. Fiecare măsurare a fost precedată de etalonarea extensometrului, cu ajutorul unui etalon din invar. Mai întâi segmentele au fost măsurate în starea inițială, înainte de sudare, apoi după efectuarea completă a acestei operații. Se înțelege că între măsurători s-a scurs un timp apreciabil, din care cauză s-a folosit extensometria mecanică, care nu a perturbat succesiunea firească a operațiilor tehnologice de sudare.

În sfârșit măsurarea deformațiilor s-a făcut și după încărcarea, respectiv descărcarea traversei.

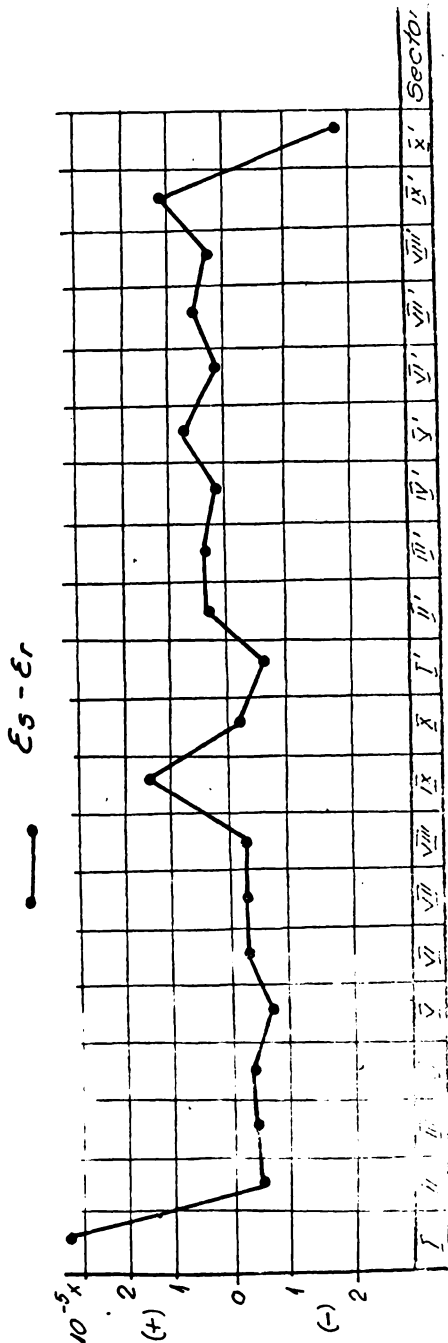
Pe baza măsurărilor făcute au fost determinate deformațiile specifice și anume cele rezultate după sudarea completă a traversei cu:

- ξ_{os} - deformațiile după direcția orizontală ;
- ξ_{ds} - deformațiile după direcția la 45° față de direcția orizontală ;
- ξ_{vs} - deformațiile după direcția verticală, respectiv la 90° față de direcția orizontală.

Deformațiile specifice rezultate în final după încărcarea și descărcarea traversei au fost notate cu ξ_o , ξ_d și ξ_v după cele trei direcții ale rozetei: orizontală, la 45° și verticală.

În fig.7.4.3 se prezintă diferențele dintre deformațiile specifice ale segmentelor care formează rozetele respective, în cele două cazuri limită și anume după sudarea completă și după încărcarea-descărcarea traversei.

In fig.7.4.3.a și 7.4.3.b se prezintă aceste diferențe pentru rozetele de pe pereții laterali ai traversei, iar in fig.7.4.4 pentru talpa superioară a acesteia. După determinarea deformațiilor re-



zultate la rozetele de pe pereții traversei, pot fi determinate tensiunile principale normale cu ajutorul relațiilor lui Hooke generalizate:

De asemenea poate fi determinat și unghiul dublu format de direcția segmentului orizontal al rozetelor și direcția tensiunii principale σ_I .

Se înțelege că mărimile din relațiile lui Hooke generalizate pot fi determinate pentru toate rozetele în cele două cazuri limită: după sudarea completă a traversei, respectiv după încărcarea și descărcarea traversei.

In tabelul 7.4.1. se prezintă tensiunile remanente care au fost determinate analitic, avînd la bază determinările experimentale făcute pe baza extensometricii mecanice pe cei doi pereți laterali.

In tabelul 7.4.2. se prezintă tensiunile din talpa superioară a grinzii.

Din cele 12 sectoare examinate din punctul de vedere al tensiunilor remanente, existente în pereții laterali ai traversei, prin cele 48 rozete și 96 valori determinate rezultă situația statistică din tabelul 7.4.3.

In același tabel se prezintă și situația rezultată pe talpa superioară a traversei.

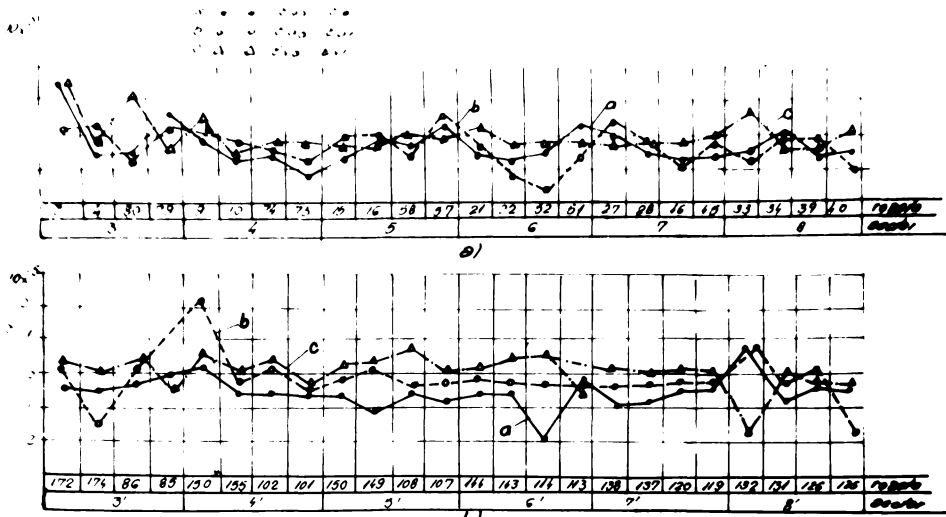


Fig. 7.13. Diferențele dintre deformările specifice din pereții laterali și transversali după suțiere și după încărcarea-dezincărea acestora.

Tabelul 7.4.1.

Sector	Rezeta	Tensiuni rezanante		§ 2 ψ	
		σ I	σ II	după sudarea completă	după încălzire-descălzire
		(daN/mm ²)			
0	1	2	3	4	5
3	1, 2, 3	3,66	3,30	37°50'	25°
	4, 5, 6	-0,62	-1,26	176°30'	2°28'
	80,81,82	-0,48	2,34	168°40'	8°25'
	79,78,77	1,16	-0,53	152°20'	151°5'
4	9, 8, 7	0,75	-0,13	10°10'	11°40'
	10,11,12	-17,72	-19,89	2°20'	11°45'
	74,75,75	-0,84	0,21	159°35'	168°10'
	73,72,71	-2,76	-1,32	178°50'	2°
5	15,14,13	-1,92	-1,52	39°35'	47°5'
	16,17,18	-8,46	-2,52	1°15'	15°15'
	58,59,70	-0,57	-0,06	165°55'	23°55'
	57,56,55	0,78	0,48	168°5'	163°20'
6	21,20,19	0,46	-1,10	28°	27°5'
	22,23,24	-1,23	-1,28	174°15'	162°25'
	52,53,54	-1,20	-0,05	7°55'	15°55'
	51,50,49	-0,05	-0,88	154°40'	159°10'
7	27,26,25	1,50	0,80	29°50'	30°45'
	28,29,30	-0,45	-1,12	40°35'	40°25'
	46,47,48	-1,66	-1,16	159°35'	171°25'
	45,44,43	-17,54	-17,83	177°10'	96°25'
8	33,32,31	2,12	-1,17	78°5'	84°40'
	34,35,36	-0,57	-0,37	18°50'	19°5'
	39,38,37	-1,65	-0,86	164°25'	162°5'
	40,41,42	-0,16	-0,77	146°57'	155°10'
3'	172,173,174	-0,51	0,51	90°	123°45'
	171,170,169	-1,20	0,59	174°35'	26°30'
	86,87,88	0,77	-0,17	11°15'	13°10'
	85,84,83	-1,51	-0,56	29°50'	51°30'
4'	156,157,158	0,58	3,86	144°50'	132°15'
	155,154,153	-0,13	-1,13	161°35'	161°35'
	102,103,104	1,88	-1,88	153°15'	164°40'
	101,100, 89	-0,52	-1,05	7°5'	6°5'
5'	150,151,152	0,36	-0,36	48°5'	63°
	149,148,147	-2,20	0,63	127°5'	127°45'

	0	1	2	3	4	5
5'	108,109,110	2,41	- 0,53	23°35'	24°	
	107,106,105	0,21	- 1,15	156°30'	152°50'	
	144,145,146	- 0,58	0,27	91°5'	94°15'	
6'	143,142,141	0,28	0,76	126°5'	117°55'	
	114,115,116	0,31	- 4,07	155°25'	151°05'	
	113,112,111	- 0,40	- 0,19	10°10'	9°35'	
7'	138,139,140	0,41	- 1,05	139°5'	156°45'	
	137,136,135	- 0,54	- 0,44	157°10'	158°30'	
	120,121,133	- 0,49	- 0,76	7°10'	8°5'	
8'	119,118,117	- 0,09	- 0,53	38°25'	38°20'	
	132,133,134	4,15	4,01	125°25'	132°35'	
	131,130,129	- 1,40	- 0,58	107°35'	113°10'	
	126,127,128	- 0,48	- 0,11	17°5'	19°12'	
	125,124,123	0,22	- 2,41	37°5'	23°55'	

Tabelul 7.4.2.

Segment	Tensiune remanentă daN/mm ²	Segment	Tensiune remanentă daN/mm ²
I	+ 6,93	I'	- 1,26
II	- 0,84	II'	+ 0,84
III	- 0,84	III'	+ 9,03
IV	- 0,84	IV'	+ 0,21
V	- 0,84	V'	+ 1,68
VI	- 0,42	VI'	+ 0,21
VII	- 0,42	VII'	+ 1,05
VIII	- 0,21	VIII'	+ 0,63
IX	+ 0,315	IX'	+ 2,1
X	- 0,42	X'	- 4,2

Tabelul 7.4.3.

Domeniul tensiunilor remanente (daN/mm ²)	Pereți laterali		Talpa superioară	
	număr	%	număr	%
subunitare	53	52,2	13	65,0
1 ... 5	38	39,6	5	25,0
5 ... 10	1	1,02	2	10
10 ... 15	-	-	-	-
15 ... 20	4	4,18	-	-

Se mai poate remarca și faptul că în pereții laterali ai traversei din cele 96 valori pentru tensiunile remanente au fost 30 tensiuni remanente de întindere și 66 de compresione.

În talpa superioară a traversei din cele 20 valori ale tensiunilor remanente au fost 50 % de întindere, respectiv 50 % de compresione.

Lucrarea a prezentat modul de rezolvare a proiectării constructiv-tehnologică a unei traverse, care prin destinația sa constituie o construcție de mare importanță.

Datele experimentale obținute prin extensometria mecanică au indicat existența unor deformații sub 0,2 %. De asemenea tensiunile remanente sînt sub 20 daN/mm^2 , majoritatea fiind tensiuni de compresiune. Toate cele patru valori ale tensiunilor remanente cuprinse între 15 ... 20 daN/mm^2 sînt de compresiune.

7.5. Cercetarea modelului unei cuve pentru transformator cu dispozitivul de ridicare

S-a modelat o parte dintr-o cuvă a unui transformator de mare putere și înaltă tensiune (400 MVA, 400 KV) conform fig. 7.5.1.

Peretele cuvei a fost executat din tablă de oțel marca OL 44-4k STAS 500-80, cu grosimea de 10 mm. Pentru nervuri și dispozitivul de ridicare s-a folosit tablă de oțel marca OL 52-4B STAS 500-80, cu grosimea de 20 mm. Modelul a avut suprafața plană de $2500 \times 2550 \text{ mm}$ și s-a executat la scara 1:1 [29,30].

La sudarea plăcii de bază a modelului din tabla de oțel marca OL 44-4k cu grosimea de 10 mm, cu pereții verticali ale centurilor și ale nervurilor din același material, sudarea s-a executat fără preîncălzire. În schimb la sudarea plăcii de bază din oțel OL 44-k cu pereții verticali ale centurilor și ale nervurilor din oțel marca OL 52-4B cu grosimea de 20 mm s-a folosit preîncălzirea la $250-300^\circ \text{C}$.

Sudarea plăcilor cu grosimea de 10 mm s-a făcut cu electrod Unibaz cu diametrul de 3,25 mm și printr-un singur strat. În schimb sudarea elementelor cu grosimea de 10 mm cu cele avînd grosimea de 20 mm s-a făcut în două straturi.

În tabelul 7.5.1. se prezintă regimul de sudare și energiile liberă utilizate la sudarea modelului din figura 7.5.1. Din datele cuprinse în tabelul 7.5.1. se constată că¹ sudurile executate fără preîncălzire energia liniară, respectiv regimul de sudare, variază în limite mai largi.

Pentru măsurarea deformațiilor s-a utilizat extensometria mecanică, în care sens s-au amplasat pe model rozete rectangulare, alcătuite din segmente așezate la 45° unul față de altul, cu baza de 20 mm. Delimitarea segmentelor s-a făcut cu ajutorul bilelor din oțel cu diametrul de $1/16''$. Au fost folosite 99 de rozete cu 127 de segmente, amplasate pe model conform figurii 7.5.2. Variația bazei de măsură a segmentelor a fost urmărită cu ajutorul extensometrului mecanic, cu diviziunea de 1 mm [10⁰, 163].

Tabelul 7.5.1.

Regimul de sudare și energiile liniare folosite
la modelul sudat al cuvei de transformator

Diametrul electrodului (mm)	Modul cum s-a realizat cusătura sudată	Regimul de sudare			Energia liniară (J/cm)
		U _a (V)	I _s (A)	V _s (cm/s)	
3,25	fără preîncălzire	25	110	0,211	6520
				0,563	2440
		32	145	0,211	11001
	cu preîncălzire	25	135	0,211	7640
				0,286	5870
		29	120	0,211	7920
5,0	fără preîncălzire	27	250	0,275	9205
				0,648	3906
		33	280	0,275	12600
	cu preîncălzire	30	250	0,237	11867
				0,290	9698
		37	270	0,237	15807
4,0	fără preîncălzire	30	200	0,279	8063
				0,668	3368
		35	190	0,279	8063
		250	0,648	3733	

Măsurarea segmentelor s-a făcut în mai multe etape succesive și anume:

- după executarea cusăturilor sudate orizontale ;
- după sudarea cusăturilor sudate verticale din interiorul centurilor și al nervurilor, însă numai pe partea superioară a modelului, acolo unde deformațiile au fost mai pronunțate ;
- după eliberarea modelului din dispozitivul în care a fost sudat ;
- după efectuarea unor păuri cu diametrul de 4 mm amplasate în mijlocul segmentului aflat pe direcția de 45° ;
- după decuparea cu flacăra a zonelor centrale ale modelului, în care se găsesc rozetele 29 ... 44 și 54 ... 78.

După cum s-a arătat mai sus programul a urmărit dinamica deformațiilor după executarea operațiilor respective.

După sudare s-am evidențiat deformații apreciabile la marginile modelului și anume la partea superioară a acestuia s-a produs o săgeată de 7 mm pe o lungime de 320 mm în partea stângă, iar în dreapta s-a produs o săgeată de maxim 10 mm pe o lungime de 1000 mm.

La partea inferioară a modelului în partea stângă și dreapta au rezultat deformații egale de 7 mm pe o lungime de 620 mm. Pe marginea

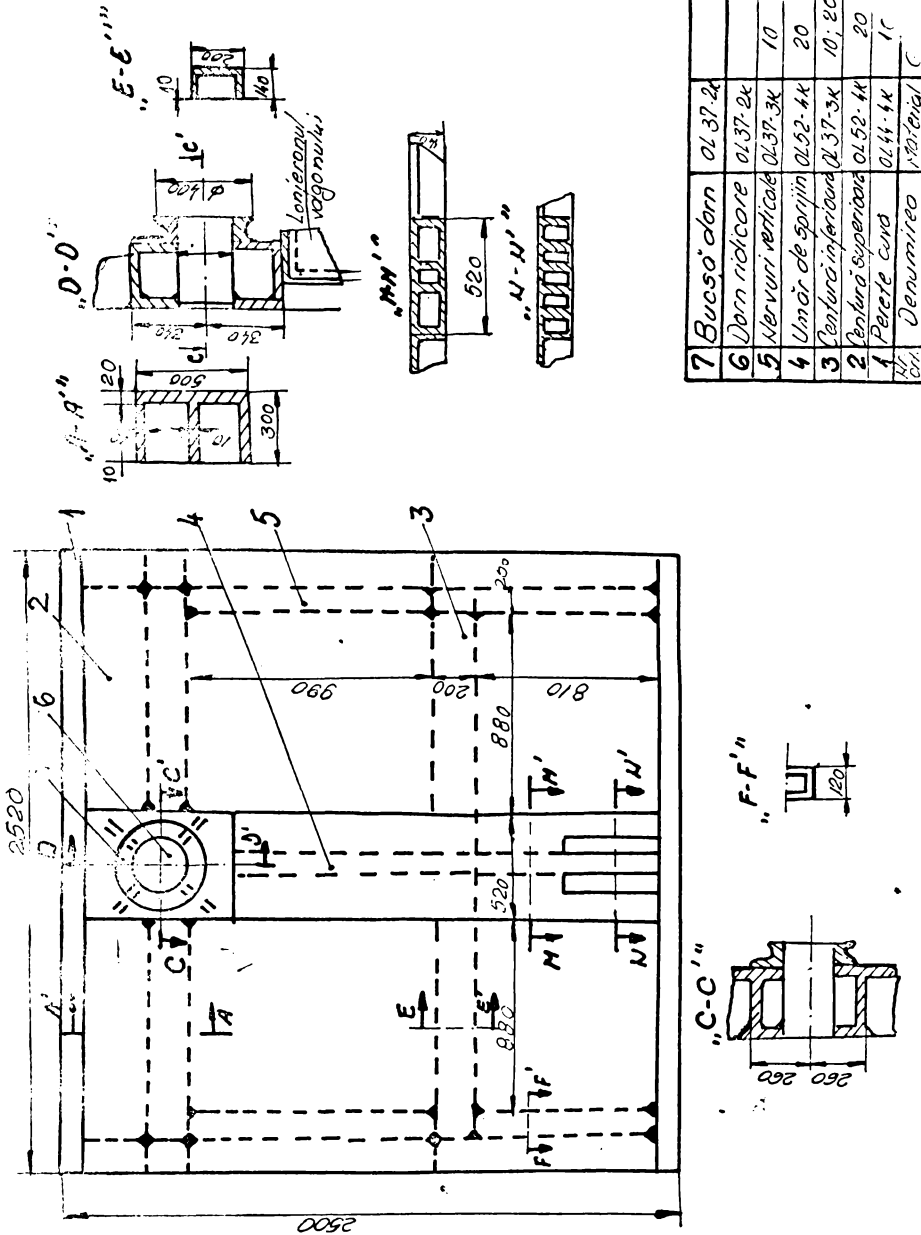
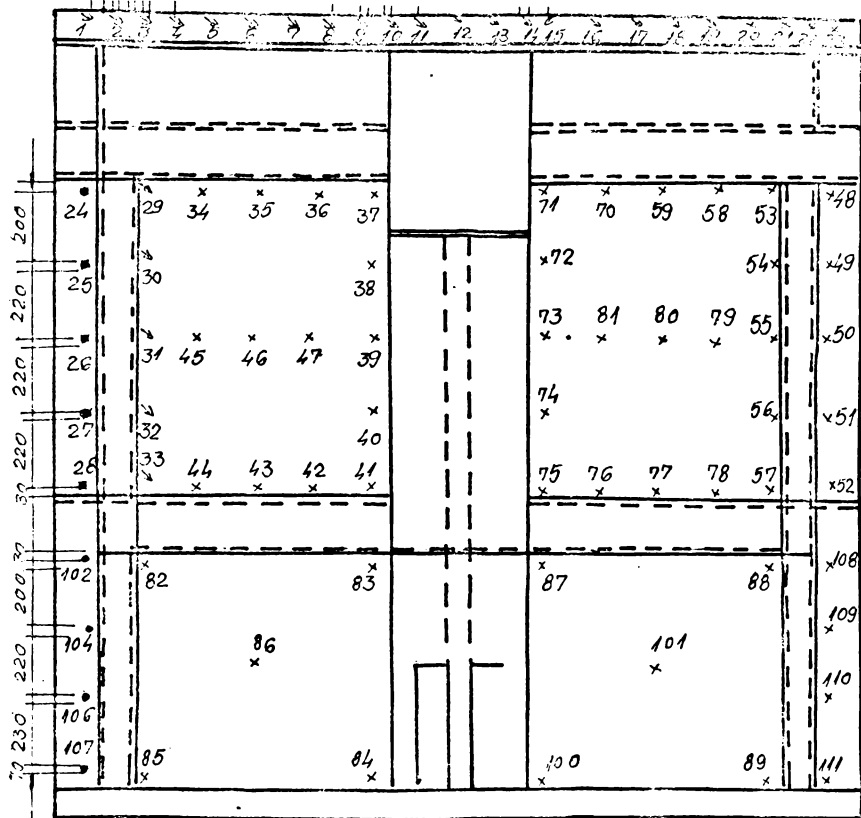


Fig. 7.5.1. Model cură cu dispozitiv de ridicare pentru transformator 400 MVA ; 400 kv.



Detaliu roata

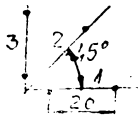


Fig. 15.2. Modul de amplasare al roatai.

modelului, în afara centurilor și a nervurilor,, deformațiile care au rezultat după sudare și eliberarea modelului din dispozitivul de sudare au fost mai pronunțate existând libertatea de deformare a materialului, obținându-se valori de maxim de cea.1,3 %, un caz izolat fiind de 2,128 %. În zonele centrale ale modelului limitate de cadrele și nervurile respective, deformațiile maxime ajungând abia până la 0,6 %

Analizând statistic deformațiile obținute care depășesc valoarea 0,2 % se poate prezenta situația din tabelul 7.5.2., în care s-au marcat deformațiile de întindere (alungire) cu semnul(+), iar contracțiile cu (-).

Tabelul 7.5.2

Situația statistică a deformațiilor rezultate care depășesc valoarea de 0,2%

Nr. total segmente	După sudarea cusăturilor				După sudarea	
	orizontale		verticale		totală	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
96	13	30	14	39	9	35
din care în zonele centrale	17	4	10	2	1	13
din care în zonele marginale	79	9	20	12	38	22

Din tabelul 7.5.2. rezultă următoarele:

- după executarea cusăturilor intermediare metalul este deformat mai pronunțat ;
- deformațiile mai pronunțate sînt de contracție ;
- deformațiile mai pronunțate sînt în zonele marginale, în comparație cu zona centrală mai bridată ;
- după sudarea completă a modelului, mărimea deformațiilor se micșorează apreciabil, cu cea.54 %.Efectul este mai puțin evident în zona centrală mai rigidizată, în comparație cu zonele marginale cu grade mai mari de libertate.

Analizînd deformațiile obținute, rezultă că valorile acestora sînt sub 1,5 %, cu excepția cazului singular arătat, chiar în zonele marginale, ceea ce este acoperitor avînd în vedere indicațiile din literatură [56] .

Pe baza deformațiilor măsurate și folosînd relațiile lui Hooke generalizate [39,44,70,98,100,11,116,168] au fost determinate tensiunile normale principale maxime și minime în următoarele situații :

- după sudarea completă a modelului și eliberarea acestuia din dispozitivul de sudare ;

- după efectuarea găurilor cu diametrul de 4 mm pe direcția la 45° a rozetelor ;

- după desuparea zonei centrale care a cuprins rozetele 29-44 și 54-78.

În fig.7.5.3. se prezintă tensiunile normale principale maxime, iar în fig.7.5.4. cele minime.

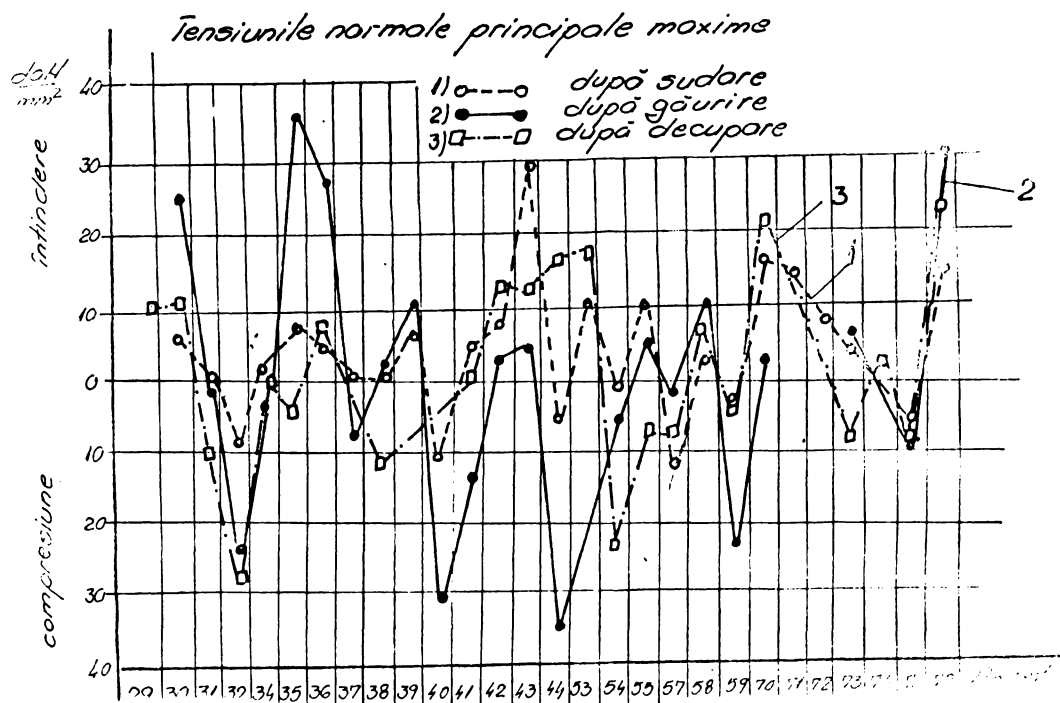


Fig.7.5.3.
Variația tensiunilor normale principale maxime a rozetelor din zona centrală a modelului în cazurile analizate.

Cercetările au fost continuate pentru a caracteriza îmbinările sudate. În acest scop au fost comparate rezultatele obținute pe probe de laborator, executate în condiții similare ca și modelul și pe probe prelevate din îmbinările acestuia.

Pentru caracterizarea îmbinărilor sudate de colț au fost executate probe sudate conform STAS 5976-71.

În tabelul 7.5.3 sînt prezentate regiunile în care au fost realizate aceste probe.

Probele sudate au fost realizate în condițiile care să reproducă situația modelului, în sensul că elementele sudate au fost executate din mărcile de oțel și cu grosimea folosită la model, astfel ca

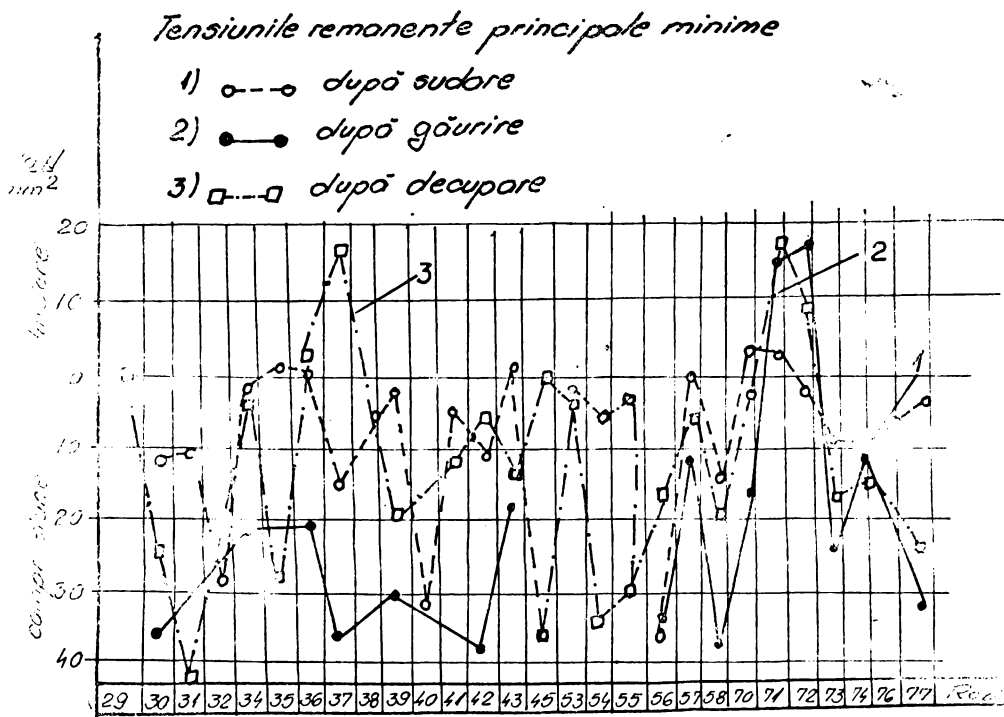


Fig.7.5.4.
Variația tensiunilor normale principale minime
a rosetelor din zona centrală a modelului în
cazurile analizate

rezultatele obținute să fie comparabile cu cele ale modelului.

Proba 1 a fost realizată fără preîncălzire, iar proba 2 s-a sudat cu preîncălzire la aceeași temperatură ca la model.

Din probele sudate au fost prelevate epruvete pentru încercarea la tracțiune. Conform Instrucțiunilor pentru autorizarea sudurilor C 9, valoarea minimă a rezistenței de rupere la tracțiune se încadrează pentru ambele mărci de oțeluri numai la proba 1, sudată fără preîncălzire. În schimb la proba 2 sudată cu preîncălzire se produce o micșorare a rezistenței de rupere pentru OL 52-4B, obținându-se valori acoperitoare numai pentru OL 44-4k.

Probele au fost verificate și sub aspectul durității Vickers cu sarcini mici, anume cu sarcina de 5 kgf (HV 5), obținându-se în zonele distincte ale îmbinării sudate valorile următoare:

152 ... 200 daN/mm^2 la proba 1 fără preîncălzire ;

155 ... 190 daN/mm^2 la proba 2 cu preîncălzire.

Valorile maxime ale durității au fost obținute în zone influențată termic a elementului din OL 52-4B.

Regimul de sudare al probelor cu îmbinări de
colt

Nr. probă	Dimensiunile plăcilor (mm)		Strat	Cu- sătu- ra	Dia- metru elec- trod (mm)	Ua (V)	Ia (A)	Va (cm/s)	Ener- gia îmbi- nării J/cm	
	200x150x150	10x30x200								
1	OL 52-4B	OL 44-4k	1	I	3,25	24	145-	0,311	5597	
				II			150	0,347	5189	
				III				0,295	6104	
				IV				0,328	4116	
				2	I	5,0	30	250	0,392	9570
					II				0,375	10004
					III				0,360	10420
					IV				0,360	7812
				3	I	4,0	26	200	0,311	8363
					II				0,360	7225
					III				0,400	6502
					IV				0,360	5417
2	OL 52-4B	OL 44-4k	1	I	3,25	24	145-	0,321	5422	
				II			150	0,321	5609	
				III				0,327	5506	
				IV				0,346	3902	
				2	I	5,0	30	250	0,327	11472
					II				0,315	11909
					III				0,334	11232
					IV				0,327	3601
				3	I	4,0	26	200	0,335	7811
					II				0,375	6936
					III				0,346	7517
					IV				0,360	5417

Aceste valori ale durității și ambele cazuri infirmă existența unor constituenți duri și fragili.

În continuare investigațiile au fost executate pe probe din îmbinările sudate ale modelului, prin secționarea acestora în anumite zone.

Dacă se compară rezultatele obținute pe probele prelevate din model, în comparație cu probele de laborator se pot deduce următoarele :

- structural au fost puse în evidență pe probele din model existența unor structuri de supraîncălzire, ca și prezența unor structuri transformate, troostitice în zona influențată termic a oțelului marea OL 52-4B ;

- duritatea Vickers(HV5) în elementele sudate din tablă cu grosimea de 10 mm și din oțel marea OL 44-4k a ajuns la valoarea maximă de 190-200 daN/mm². Duritatea HV 5 în elementele sudate din oțel marea OL 52-4B cu grosimea de 20 mm este cuprinsă între valorile 227 -

286 daN/mm², iar în anumite zone limitate aceasta ajunge pînă la 301 daN/mm².

Din cele prezentate se constată că cercetările efectuate pe modelul sudat, au permis nu numai a se stabili mărimea și sensul deformațiilor în diferite zone ale îmbinărilor sudate, iar pe baza acestora să fie determinate și starea de tensiune respectivă, dar acestea ar conduce la evidențierea unor proprietăți ale îmbinărilor sudate, care nu mai sînt în concordanță cu caracteristicile tehnice stabilite pe probe de laborator.

De aici rezultă ca o necesitate de a se apela în cazul construcțiilor sudate de mare răspundere, la modelarea fizică, la scara 1:1 avînd în vedere că prin aceasta se evidențiază modificările metalurgice.

8: MASURI PENTRU PREVENIREA SI REDUCEREA DEFORMATIILOR SI TENSIUNILOR REMANENTE

8.1. Ca urmare a procesului de sudare se produc așa cum a rezultat din lucrare deformații cu caracter plastic, ceea ce scade capacitatea de încărcare a construcției sudate.

În cazul solicitărilor statice situația este mai puțin gravă, dar la solicitările oscilante tensiunile remanente influențează asupra variației amplitudinii, în cazul însumării acestora la solicitările exterioare.

Având în vedere că materialul de bază își modifică caracteristicile datorită tensiunilor remanente se impune evitarea tensiunilor remanente de tracțiune.

Tinând cont de aceste neajunsuri se impune a fi luate măsuri pentru prevenirea și limitarea deformațiilor și tensiunilor remanente.

8.2. Măsurile care trebuie luate înainte de sudare

Pentru optimizarea soluțiilor constructiv-tehnologice se consideră ca oportună adaptarea următorului program:

a) proiectarea constructivă pentru dimensionarea construcției sudate, prin stabilirea materialului utilizat, a geometriei și a dimensiunilor elementelor importante. Pentru optimizarea acestei situații este indicată folosirea modelării matematice ;

b) verificarea soluțiilor constructive prin modelarea fizică, în special prin utilizarea fotoelasticității statice și dinamice, care oferă posibilitatea optimizării geometriei și a dimensiunilor elementelor ;

c) în continuare urmează optimizarea proiectării tehnologice care se verifică numai prin modelarea la mărime naturală a subansamblurilor sudate sau a întregii construcții. Pe această cale sînt stabilite regimurile tehnologice de sudare, măsurarea deformațiilor și determinarea tensiunilor remanente rezultate, analiza defectelor rezultate din cauze conceptive sau de execuție stabilite pe cale nedistructivă sau distructivă ;

d) definitivarea soluțiilor constructiv-tehnologice care pot fi verificate la prototip sau seria zero, sau chiar pe produse unicate prin metode nedistructive ca măsurarea deformațiilor după sudare sau în condițiile lor de exploatare (stabilitate dimensională) în special prin extensometrie mecanică, determinarea constantelor elastice și plastice cu ajutorul ultrasunetelor, verificarea durității, prefe-

rabil prin metoda Vickers cu sarcini mici de 5 sau 10 kgf, controlul nedestructiv, verificarea comportării construcției sudate în condițiile reale de exploatare, etc.

În etapele enunțate se vor avea în vedere respectarea principiilor de proiectare a construcției sudate [168] și verificarea materialelor folosite sub aspectul sudabilității în sprijinul recomandărilor I.I.S [185, 186]. Așa cum prevăd standardele naționale ca STAS 500-80, care se referă la mărcile oțelurilor cercetate în lucrare, sudabilitatea unei mărci de oțeluri nu trebuie să fie considerată numai în limita analizelor și încercărilor care definesc marca respectivă, dar se impune extinderea acestora în condițiile reale în care va fi solicitat materialul în cadrul construcției sudate.

Se impune să fie reținut, că pentru același subansamblu sudat sau construcție sudată, deformația și tensiunile remanente sînt mult influențate de la caz la caz, de la tensiunile existente în metalul de bază în starea de livrare și prelucrările pregătitoare, a regimului efectiv de sudare.

8.3. Măsurii cu caracter tehnologic

8.3.1. Măsurii tehnologice cu privire la metalul de bază și cel depus.

Oțelurile experimentate în lucrare se încadrează în STAS 500-80 și sînt destinate construcțiilor sudate. Acestea sînt cu granulație fină ceea ce asigură o tenacitate și temperaturi de tranziție mai scăzute.

Din mărcile de oțeluri analizate, oțelul OL 52 prezintă pericolul de încălzire în zona temperaturilor de supraîncălzire din Z.I.T., între izoterma AC_3 și metalul topit. Din această cauză în timpul răcirii se pot produce fisurări sub cusătură, din cauza procesului complex de solicitare, datorită construcției metalului și deformației de alungire provocată de transformarea martenitică. Fenomenul poate fi mult accentuat de prezența hidrogenului din metalul depus.

Trebuie să se cerceteze tendința de fisurare și de propagare a fisurilor pentru oțelul utilizat la construcțiile sudate de mare răspundere.

Din cercetările efectuate a rezultat că oțelurile românești sînt comparabile cu cele din import, încadrându-se la testările cele mai exigente. Același lucru se poate afirma și despre electrozii indigeni, care așa cum a rezultat se comportă chiar mai corespunzător ca cei din import similari.

Pe lângă testul la energia de rupere la încovoiere prin șoc la

temperaturi pozitive și mai ales negative, se recomandă folosirea metodelor de încercare de severitate termică, mai ales cu completările făcute și încercarea Jominy, care oferă informații în plus asupra tendinței de fisurare.

O problemă importantă o constituie tratamentul termic de preîncălzire. Se recomandă o încălzire la o temperatură cu puțin peste 100°C care să asigure îndepărtarea umidității în zona rostului de sudare. Tratamentul termic de preîncălzire este indicat a fi aplicat în cazul oțelurilor folosite, respectiv oțelurile carbon nealiat și a celor aliate, la care $C_{\text{echiv.}} > 0,4\%$ și grosimea materialului depășește 20 mm.

Temperatura de preîncălzire să nu depășească în general temperatura de transformare martensitică (M_s). De asemenea trebuie să se aibă în vedere efectul favorabil al preîncălzirii asupra difuziei hidrogenului. Din literatura de specialitate rezultă că la oțelurile nealiat hidrogenul difuzează la cca 150°C , iar la oțelurile slab aliate acest fenomen are loc în domeniul $180-300^{\circ}\text{C}$.

Din lucrare s-a arătat pe baza datelor experimentale stit prin încercările de laborator, cât și ca urmare a măsurării deformațiilor influența preîncălzirii pentru grosimi diferite ale materialului.

În acest fel au fost obținute informații globale cu privire la sudabilitatea oțelurilor cercetate.

Pentru a evita introducerea gazelor în cusătura sudată se vor respecta riguros indicațiile furnizorului de electrozi pentru uscare a acestora, în special a celor cu înveliș bazic higroscopic, ca și ferirea acestora de umezeală pînă la utilizare.

8.3.2. Măsurile tehnologice cu privire la execuția cusăturilor sudate

Măsurile care trebuie să fie luate la execuția cusăturilor se referă la evitarea fisurării și la obținerea unor structuri dure și fragile.

În acest scop o importanță o are executarea sudurilor de prindere (hafturi), care pot fi locul de predilecție al existenței fisurilor.

În cazul executării sudării la temperaturi sub 5°C se va stabili un regim de sudare care să corespundă acestei situații.

La executarea cusăturilor vor fi evitate formarea craterelor și a scobiturilor, iar ultimul strat să fie realizat prin treceri multiple, mai ales în cazul utilizării oțelului marca OL 52.

Executantul trebuie să respecte cu strictețe toate indicațiile

proiectării constructiv-tehnologice pentru asigurarea îmbinărilor sudate de calitate.

La oțelul OL 52 se vor executa treceri cu secțiunea metalului topit de minim 25 mm^2 și cu lungimea minimă de 100 mm. Este recomandabilă la sudarea acestei mărci de oțel utilizarea unor electrozi cu diametrul mare și cu intensități mari de curent.

De asemenea în cazul utilizării oțelului OL 52 se va evita sudarea peste cap (plafon) sau în cazul imposibilității evitării acestei situații se va aplica obligatoriu preîncălzirea materialului.

Pentru a evita aportul de gaze în cusătură este bine ca marginile pieselor care urmează a fi sudate să fie polizate pentru îndepărtarea oxidizilor metalici de pe suprafața metalului.

În timpul sudării se va avea în vedere ca temperatura metalului să nu scadă sub 5°C și ca operația de sudare să nu se execute în curenți de aer. Este recomandabil ca la utilizarea oțelurilor OL 52 și aliate, în cazul că temperatura metalului este între 0 și 5°C se vor executa probe în vederea stabilirii regimului de sudare.

Executantul trebuie să respecte în întregime toate indicațiile din proiectul și din tehnologia elaborate, având obligația de a avea inițiative care să asigure îmbinări sudate de calitate.

Pentru evitarea deformațiilor pronunțate se vor lua măsuri la execuție prin [145] :

- a) reglarea acțiunii termice la sudare astfel încât să fie micșorată energia liniară, utilizarea preîncălzirii în vederea reducerii deformațiilor plastice din cauza contracției sau a măririi zonei de repartizare a deformațiilor ;
- b) mărirea deformațiilor plastice de alungire fie la rădirea metalului sau după sudare prin deformare plastică suplimentară (laminare, forjare, întindere, vibrații etc);
- c) compensarea deformațiilor prin predeformare în sens invers față de deformațiile care ar rezulta după sudare;
- d) utilizarea dispozitivului în care se execută îmbinările sudate.

Stăpînirea procesului termic de sudare este o condiție deosebită, mai ales la sudarea manuală. Urmărirea și respectarea permanentă a parametrilor care definesc regimul de sudare și în primul rînd viteza de sudare, sînt condiții care asigură regimul termic de sudare. Este indicată măsurarea temperaturii între straturi și limitarea

energiei liniare utilizată la sudare.

Pentru uniformizarea structurii metalului din cusătură este recomandabil ea în timpul sudării respectiv în timpul procesului de solidificare, să se utilizeze surse vibratorii la frecvențe joase sau cu ultrasunete, ceea ce contribuie la îmbunătățirea proprietăților mecanice.

O importanță deosebită o prezintă folosirea ordinii raționale la asamblarea și sudarea construcției. În această direcție se va avea în vedere separarea construcției pe elemente individuale, astfel alese încît să asigure un număr restrîns de suduri de montaje, încît deformațiile rezultate la sudarea elementelor separate să fie diminuate la asamblarea finală.

O altă soluție este asigurarea unei rigidizări a secțiunii transversale a construcției sudate, concepută astfel încît sudarea să înceapă numai după ce un număr de elemente care formează secțiunea transversală au fost asamblate.

Reglarea deformațiilor prin acționarea asupra caracteristicilor fizice și structurale conduc la modificarea caracteristicilor mecanice ale metalului din zona sudării. Utilizarea la construcțiile sudate a materialelor cu proprietăți dilatometrice diferite în anumite condiții, permite realizarea sudurilor fără deformații.

În această privință prezintă interes rezultatele obținute în cazul încercărilor la fisurabilitate pe probe executate din elemente din OL 52 și OL 37 și cu grosimi diferite, care se găsesc în capitolul 2.

Deformarea plastică a zonei îmbinării sudată realizează reducerea deformațiilor plastice de contracție, lucru ce se obține prin întinderea pieselor în timpul sudării.

Realizarea deformațiilor inverse celor de la sudare se asigură prin fixarea construcției în dispozitivele care sînt concepute astfel încît țin cont de modificările geometrice care pot să apară ca urmare a sudării. În acest caz rezultă condiția ca deformațiile să fie foarte bine stabilite și executarea sudării cu respectarea riguroasă a regimului de sudare. Această metodă este aplicată în mod deosebit la construcțiile sudate cu gabarit mare, acolo unde în dreptările postsudare sînt dificil de a fi realizate.

Mecanizarea operațiilor de sudare ca și sudarea în CO_2 , oferă posibilitatea stabilirii parametrilor de sudare, care să optimizeze procesul de sudare și sub aspectul deformațiilor, ca și asigurarea condițiilor de reglare și control a acestor parametri în timpul executării cusăturilor.

8.4. Măsuri luate după sudare

După sudare vor fi luate măsuri pentru corectarea consecințelor nedorite ale deformațiilor în ceea ce privește geometria construcțiilor sudate, ea și reducerea tensiunilor remanente. Drept consecință a acestora, a repartizării neuniforme ale acestora, o problemă deosebită e prezintă stabilitatea dimensională în timp a construcțiilor sudate.

Ca o primă măsură pentru înlăturarea efectului deformațiilor e constituită executarea unor operații de îndreptare la rece sau la cald după cum este cazul, operație care trebuie executată cu multă grijă.

Pentru reducerea tensiunilor remanente vor fi executate următoarele operații :

- ciocănirea materialului în zona îmbinării sudate ;
- vâlțuirea sau laminarea ;
- încărcarea provocată pe anumită durată a construcției sudată ;
- încălzirea prin anumite procedee a diferitelor zone, operație care trebuie să se execute cu grijă deosebită pentru a nu introduce noi tensiuni și deformații ;
- reducerea tensiunilor în exploatare ;
- detensionarea termică și mecanică ;

Stabilizarea constituentilor de fază nestabili se asigură prin [234] ;

- modificarea în constituenți structurali prin descompunerea acestora sau stării alotropice, datorită proceselor termice de normalizare sau călire. Aceste modificări conduc implicit la redistribuirea tensiunilor remanente ;

- modificarea epurei tensiunilor remanente prin operații de relaxare.

Vibrațiile mecanice produc întinderi în zona deformată, iar încălzirile locale creează deformații plastice de contracție în zona îmbinării, astfel că se realizează corectarea geometriei pieselor sudate.

O altă metodă constă în încălzirea locală a unei zone, în răciră forțată a altora.

Astfel pentru deformarea plastică, respectiv alungirea la sudare a tablelor din oțel este suficientă încălzirea unei zone din apropierea îmbinării sudată cu lățimea de 150-200 mm, urmată de răcirea locală folosind un răcitor de contact cu azot lichid.

Pentru reducerea deformațiilor și a tensiunilor remanente prin

revenirea la temperatură înaltă a pieselor fixate în dispozitivele de strângere, metodă cunoscută sub denumirea de termofixare.

Metodele cele mai uzuale pentru reducerea deformațiilor și tensiunilor remanente se bazează pe tratamentele termice executate în diferite condiții.

Tratamentul termic trebuie să asigure :

- relaxarea optimă a tensiunilor remanente ;
- restaurarea optimă a durabilității materialelor fragile ;
- degradarea minimă a proprietăților mecanice ale zonelor ne-fragilizate.

În anexa V/1 se prezintă indicațiile pe bază de standarde stricte a tehnologiei de relaxare termică ca temperatura de încălzire și viteza de încălzire, timpul de menținere, viteza de răcire, ca și temperaturile la introducerea și la scoaterea pieselor din cuptor.

8.4.1. Detensionarea după sudare

La construcțiile sudate la care se impune asigurarea unei stabilități dimensionale, ca și reducerea tensiunilor remanente se aplică obligatoriu cel puțin tratamentul termic de detensionare.

Această tehnologie prezintă o serie de dezavantaje economice, necesitând cuptoare pentru detensionare, ca și consumuri importante de energie electrică sau combustibil. Detensionarea termică este dificilă de a fi aplicată construcțiilor sudate cu gabarit mare, care amplifică considerabil aspectele negative prezentate anterior.

În plus după cum se arată în anexa 8 detensionarea termică se impune a fi realizată cu deosebită grijă, respectându-se gradientul de creștere al temperaturii la încălzire, temperatura și durata de menținere, ca și descreșterea controlată a temperaturii, în funcție de marca oțelului și a grosimii elementelor utilizate.

La construcțiile sudate cu gabarit mare, încălzirea prin anumite procedee cu flacără sau cu rezistențe electrice, se impune a fi bine determinată și controlată harta temperaturilor realizată la încălzirea și răcirea pieselor, în caz contrar se pot obține efecte nedorite datorită încălzirilor și răcirilor neuniforme, surse de deformații și tensiuni remanente suplimentare.

Încă un aspect al problemei îl constituie prezența structurilor de supraîncălzire (Widmanstättten) destul de frecvente la îmbinările sudate, cu efectele nedorite cunoscute.

O altă problemă la detensionarea termică este „ fragilitatea la albastru ” a oțelurilor. Sub acțiunea deformării la temperaturi

diferite ductibilitatea oțelului se micșorează la oca 200°C, în funcție de viteza de deformare, când rezistența acestuia devine maximă. Fenomenul este condiționat de conținutul de carbon și de azot.

Fenomenul de „ fragilitate la albastru ” este specific oțelurilor carbon nealiat și se manifestă în domeniul temperaturilor 450 și 700°C, când oțelul prezintă o plasticitate redusă la tracțiune și o reziliență mică. În acest domeniu al temperaturilor, oțelul prezintă o sensibilitate la o viteză de deformare minimă și o îmbătrânire maximă, ceea ce atestă o îmbătrânire mecanică accelerată. În plus la tratamentul termic de detensionare termică este posibilă și precipitarea carbonitruurilor.

Având în vedere acest lucru, mai ales în cazul oțelurilor slab aliate cu mangan sau cu conținut mai mare de carbon, este recomandabil utilizarea unui tratament termic de normalizare, care deși realizată la o temperatură mai înaltă ($A_{C_3} + 50^\circ\text{C}$), faptul că răcirea se face în afara cuptorului, în aer liniștit prezintă un avantaj economic. Normalizarea conduce și la eliminarea straturilor de supraîncălzire și uniformizarea caracteristicilor mecanice ale îmbinării sudate.

În capitolul 5 pe baza analizei dilatometrice se prezintă temperaturile optime pentru detensionarea termică, rezultând necesitatea normalizării în cazul oțelului marca OL 52.

În ultimul timp se apelează tot mai frecvent la detensionare mecanică, prin vibrații.

Reducerea tensiunilor la vibrare se realizează prin crearea tensiunilor variabile în piesa sudată. Sub acțiunea vibrațiilor tensiunile trebuie să depășească un anumit nivel. Piesa este vibrată la frecvența de rezonanță pentru o anumită durată, definită de greutatea și de rigiditatea piesei, de tipul îmbinărilor sudate, de compoziția chimică a oțelului [250, 251, 252, 253].

Mărimea tensiunii oscilante pentru detensionare este determinată de nivelul tensiunilor remanente de la sudare. Suma celor două tensiuni suprapuse trebuie să depășească limita de curgere a oțelului în condițiile ciclului de încărcare [254].

Durata de reducere a tensiunilor remanente este mică de 20-25 min., durată care poate fi redusă prin mărirea amplitudinii tensiunilor.

Efectul detensionării prin vibrații este urmărit prin valoarea intensității curentului consumat de motorul de antrenare care crează condițiile de vibrare. Astfel scăderea intensității curentului este de 25-30 % la construcțiile sudate - turnate, de 20-25 % la construc-

Tabelul 1

V

Specificații privind relaxarea termică după anumite standarde

Standardul	Tempera- tura de introducere a piesei (°C)	Viteza de încălzire tratatament (°C)	Tempera- tura menținere tratatament (°C)	Timp de menținere (min.)	Viteza de răcire (°C/h)	Temperatura de scoatere din cuptor (°C)
BS 1113-1969 Reactualizat 30.06.1981	300		520-620 sau preferabil normaliza- re	2,5 min FM		400
a) steel C și steel cu condi- ții C ₁ și C ₂ , 25% și C ₃ și C ₄			520-620 (preferabil 650-670 pentru C ₂ și C ₃)	2,5 min FM		
b) steel C și C ₁ și C ₂ și C ₃ și C ₄ și C ₅ și C ₆ și C ₇ și C ₈				min. 50 min.)		
BS 3915 (1965) Pressure vessels zone- rel application Revizuit 1968	300	200°C/h 200°C/h	600-650 375 550 525 300 475	1h/25mm 1,5h/25mm 2,5h/25mm 2,75h/25mm 6h/25mm 12h/25mm	max. 250 250 t	300
BS 3915 (1965) Reactualizat 30.06.1983	300	250°C/h	580-620	a + $\frac{b}{h}$ + 16 a=h între 600/620°C 1,5h între 575/ 600°C o=h între 550/ 575°C	Grosime pînă la 1,25mm -250 250 t	300

1 2 3 4 5 6 7

ISOR 831-68 pte.rofel
tip 52 ou grosimea
> 20mm

600±20

2,5min/mm
(1h/25mm)

Factor
Tentă

400

DN 17155

A 48
600/620

A 48
550/620

A 52
550/620

AMEZ 319 max. 205°C/h 505 1h/25mm max. 235 310

205°C/h 500 4h/25mm 235

30°C/h 540 3h/25mm

135

2h/25mm

3h

Code chimic/raport 300 500-650 500-650 2ml/min 150 la 300

Reținuție (France) 2h la 100-600°C 640±10 2h 1h la 60-640°C

Treatment al construc- 20-100°C pink la 650 1h/25mm 80-100°C pink la 300

300°C 60-80°C/h pink 300°C

t= grosimea in inci
of grosimea in mm
h= durata in ore

tile sudate-forjate și de cca 15 % la laminatele sudate [256].

Utilizarea detensionării prin vibrație în regimul de rezonanță impune un calcul dificil. Având în vedere că o mărire bruscă sub formă de salturi a amplitudinii oscilațiilor poate provoca apariția fisurilor în cazul pieselor executate din materiale cu plasticitate redusă și cu o sensibilitate accentuată la concentratorii de tensiune. De aceea aplicarea tratamentului prin vibrații la frecvențele de rezonanță se recomandă la materialele cu plasticitate bună și care nu prezintă tendința la fisurare [255].

Eficiența economică la detensionarea prin vibrații în comparație cu cea prin vibrații este evidentă.

Astfel după A. Rappen rezultă că detensionarea prin vibrații a batiurilor sudate pentru prese executate din OL 37, cu grosimea de 6-30 mm, greutatea de 1 tonă, au fost obținute abateri dimensionale în medie de 0,1-0,2 mm, față de 0,4 mm la cele nevibrate.

Reducerea maximă a forței de 30 %, iar media de 7 % [257]. Costul tratamentului termic al unei piese cu greutatea de 0,1-100 tone costă 2-1800 ruble, iar pentru aceleași piese tratamentul prin vibrație ajunge la 0,5-10 ruble [256].

Se înțelege că detensionarea prin vibrații nu este în măsură de a reface structurile de supraîncălzire, ca și detensionarea termică. De asemenea nu este indicată de a fi aplicată în cazul structurilor cu plasticitate redusă și a celor cu constituenți duri și fragili, în care caz există pericolul de fisurare.

Rezultatele proprii în problema utilizării acestei tehnologii în comparație cu detensionarea termică sînt publicate în lucrările [247, 260, 261].

9. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSOALE

9.1. Concluzii

9.1.1. Cercetări pentru fundamentarea utilizării oțelurilor cu granulație fină marca OL 37 și OL 52 la fabricația de locomotive Diesel-electrice și de transformatoare de mare putere și locomotive electrice. Pe baza optimizării tehnologiilor de sudare folosind aceste oțeluri și electrozi de sudură indigeni s-a confirmat și competitivitatea soluțiilor adoptate [11, 12, 16, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 32, 127, 130, 133, 236, 238, 241].

9.1.2. Având în vedere responsabilitatea ansamblelor sudate analizate, s-a acordat o atenție deosebită testelor care reliefează

ză fisurarea îmbinărilor sudate, în special la oțelurile slab aliate cu mangan marca OL 52, la care se cunoaște că există mai pregnant această tendință. Metodele de încercare au fost completate și diversificate de autor [14,19,21,243] .

9.1.3. În cea mai mare parte, cercetările efectuate de autor cuprind metodele de investigare și de determinare a deformațiilor și tensiunilor prin metode clasice, cunoscute, însă cu o diversificare a posibilităților de investigare și aplicare. Au fost folosite metoda extensometriei electrice și mecanice, a dilatometriei, ultrasonică, etc. Rezultatele acestor măsurări au confirmat posibilitatea de investigare corelată din punct de vedere al mărimilor stabilite, a preciziei și a reproductibilității [10,13,17,19,30,31,47,100,128,132,134,136,163,208,236,246,247,260,261,263] .

9.1.4. O parte din cercetările [13,19,36 și 47] experimentate s-au referit la urmărirea dinamică, respectiv în evoluție în timpul executării îmbinărilor sudate și după aceea.

Informațiile tehnice prețioase pentru industria constructoare de mașini bazată pe subansamble sudate au fost obținute prin cercetarea acestor deformații și tensiuni în evoluția lor, adică în timpul sudării pe straturi, după sudare, după detensionare și după eliberarea parțială a tensiunilor prin prelucrările mecanice. Aceste date se aliniază cu cele din literatură [13,14] .

9.1.5. Cercetările pentru determinarea tensiunilor din ansamblele sudate au fost axate și pe cunoașterea cât mai reală a tensiunilor termice care apar la sudarea acestor oțeluri.

Pentru obținerea acestor determinări s-au folosit cicluri de încălzire și răcire normale și intensificate artificial pentru cunoașterea stării de tensiune. Aceste cicluri diferențiate au produs la rîndul lor diferite stări de tensiune.

Metodele de analiză pentru determinarea acestor stări de tensiune, ca urmare a procesului de sudare au fost cel mai bine cunoscute în evidență prin analiza termică diferențială [10,19,34,131,136,236,237,262,263,265] .

9.1.6. Ciclurile de încălzire specifice proceselor de sudare conduc la importante imperfecțiuni ale rețelei cristaline ale metalului, evidențiate global cu ajutorul ultrasunetelor.

Cercetările efectuate selectiv pe probe deformate plastic prin întindere după o direcție, pe probe supuse unor cicluri de încălzi-

re și răcire diferențiate, ca și pe probe sudate au evidențiat modificările provocate în privința parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor prin material. Acestea au fost corelate cu alte determinări cu duritate și mărimea granulației pentru completarea investigațiilor cu ajutorul ultrasunetelor.

Prin metodă nedistructivă au fost stabilite experimental modulele de plasticitate în zonele diferite ale îmbinării sudate, ca o metodă simplă și practică [8,9,15,20,129,135,165] .

9.1.7. Cele mai evidente rezultate au fost obținute prin cercetările efectuate pe modele la mărime naturală. În unele cazuri rezultatele obținute pe modelele la mărime naturală au fost corelate cu rezultatele limitate furnizate de modelarea fotoelastică.

În cercetarea pe modele la scară naturală s-a folosit numai extensometria mecanică, care se pretează mai bine condițiilor de atelier.

Autorul a avut posibilitatea de a constata diferențieri în ceea ce privește nivelul tensiunilor, mai mare decât cele constatate pe subansamblele nerigidizate și pe ansamblele rigidizate.

De asemenea distructiv, pe zonele modelelor au fost puse în evidență uneori caracteristici diferite ale îmbinărilor sudate, în comparație cu datele obținute pe probe de laborator, s-au dovedit consecințele nefavorabile ale prezenței unor defecte de execuție, cu rol de concentrator de tensiune și de obținerea unor valori ale durității de oca 360 HV 5, care au condus la fisurarea la probe sudate și bridate [16, 29, 31, 134, 236, 244, 245, 246, 258] .

9.2. CONTRIBUTII PERSONALE

Ca urmare a cercetărilor efectuate, contribuțiile teoretice și practice ale lucrării pot fi evidențiate în cele ce urmează.

9.2.1. Optimizarea tehnologiilor de execuție a îmbinărilor sudate de la locomotivele diesel-electrice și ulterior și pentru locomotivele electrice, respectiv pentru transformatoarele de mare putere fabricate la Întreprinderea Electroputere Craiova, utilizând materiale de bază și de adăos din țară, obținându-se rezultate competitive pentru export.

9.2.2. Optimizarea metodelor pentru determinarea tendinței de fisurare a îmbinărilor sudate din OL 37 și OL 52, folosite simultan și de secțiuni diferite.

9.2.3. Stabilirea unei metode pentru determinarea prin utili-

zarea extensometriei mecanice și electrice pentru cunoașterea stării de tensiune superficiale și de adâncime.

9.2.4. Stabilirea unei metode pentru urmărirea dinamică a deformațiilor și tensiunilor rezultate în timpul sudării și după efectuarea anumitor operații tehnologice.

9.2.5. Optimizarea unei metode pentru determinarea stării de tensiune pe probe cu diverse cicluri termice și pe probe din diferite zone ale îmbinării sudate, folosind analiza dilatometrică.

9.2.6. Stabilirea unei metode pentru evidențierea separată a modificărilor produse pe probe deformate plastic unidirecțional, pe probe supuse unor cicluri termice diversificate, ca și pe zonele distincte ale pieselor sudate, folosind ultrasunetele și analiza influenței acestor stări asupra parametrilor care definesc propagarea ultrasunetelor.

9.2.7. Cercetarea deformațiilor și a tensiunilor pe subansamble și ansamble rigidizate, reprezentând modele la mărime naturală.

9.2.8. Elaborarea unor normative pentru atelier referitoare la măsurile care trebuie luate înainte de sudare, la pregătirea și nominalizarea materialelor în vederea reducerii la minim a tensiunilor și deformațiilor la construcțiile sudate de răspundere, la fabricația de locomotive și transformatoare de mare putere.

9.2.9. Definitivarea măsurilor luate după sudare în vederea cercetării consecințelor deformațiilor în ceea ce privește geometria structurilor sudate și reducerea tensiunilor remanente prin operații de relaxare (vibrații mecanice) și încălziri locale cu eventuale răcirii forțate a altor zone.

9.2.10. Cercetarea posibilității înlocuirii la scheletul metalic inferior al locomotivelor diesel-electrice de 2100 CP. al profilului greu laminat I cu dimensiunile 330x300x15x10 din oțel ST 37-3 DIN 17100 provenit din import pe D.L prin realizarea acestuia în construcțiile sudate folosind oțel și electrozi din țară.

9.2.11. Problemele tehnice din teză reprezintă rezultatele cercetărilor științifice și aplicative efectuate de autor valificate la proiectarea locomotivelor și transformatoarelor de putere la Electroputere (ex. cap. 2, 7 și bibliografia). În plus rezultatele prezentate în teză au aplicabilitate în oricare întreprindere constructoare de mașini.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

- 1 x * x Directivele Congresului al XIII-lea al Partidului Comunist Român cu privire la dezvoltarea economică-socială a României în cincinalul 1986-1990 și orientările de perspectivă până în anul 2000.
- 2 Ceaușescu, Nicolae - Cuvîntare la Congresul al III-lea al Frontului Democratiei și Unității Socialiste (8 febr. 1965).
- 3 Ceaușescu, Elena - Cuvîntare la încheierea lucrărilor Congresului Științei și Învățămîntului, 29 nov. 1965.
- 4 Adams, C.M., jr. - Vitesse de refroidissement et températures du crete en soudage par fusion. Welding Journal, USA (1958), vol. 37, nr. 5. Research Suppl. pag. 210-215.
- 8 Băltănoiu, M., Sontea, S. - Determinarea constantelor fizice F, G și u prin utilizarea ultrasunetelor. Lucrare prezentată la a XI-a sesiune științifică a cadrelor didactice IPTV, 1964 și publicată în revista Metrologia Aplicată nr. 4, aprilie 1964.
- 9 Băltănoiu, M., Sontea, S. - Verificarea mărimii defectelor detectate prin controlul ultrasonic cu ajutorul metalografiei la probele laminare utilizate la uzinele Electroputere Craiova. Lucrare prezentată la a IV-a sesiune de comunicări științifice ICFM București, 1964.
- 10 Băltănoiu, M., Sontea, S., Diaconu, Vl. - Determinări de tensiuni remanente pe îmbinări sudate cap la cap din tabla de oțel OL 38. Lucrare prezentată la a V-a Conferință de sudură și încercări de metale. Timișoara, 1965 și publicată (în lucrările aceleiași conferințe) partea II-a, Încercări de metale.
- 11 Băltănoiu, M., Sontea, S. - Considerații asupra comportării oțelurilor carbon obișnuite la temperaturi scăzute. Lucrare prezentată la a IX-a Sesiune științifică a I.P. București, 28-30 mai 1965.
- 12 Băltănoiu, M., Sontea, S. - Observații privind reziliența oțelurilor S.M. calmate și necalmate. Lucrare prezentată la a IX-a Sesiune științifică a I.P. București, 1965, și publicată în revista Metalurgia nr. 7, 1965.
- 13 Băltănoiu, M. - Contribuții asupra determinării cimpului termic și a tensiunilor corespunzătoare la îmbinările din oțel sudate cap la cap. Lucrare prezentată la Conferința de Mecanică Tehnică, București, 30-30 oct. 1967.
- 14 Băltănoiu, M., Stancoveanu, Gh., Temirov, Vl., Sontea, S. - Cercetări privind tendința de rupere fragilă a oțelurilor folosite în construcții metalice sudate cu aplicare la locomotive. Cercetare executată la IEPC, 1968.
- 15 Băltănoiu, M. - Considerațiuni asupra vitezelor de propagare ale ultrasunetelor datorită modificărilor provocate de tensiunile remanente. Lucrare prezentată la a II-a Conferință de ultra-acustică aplicată a Comisiei de Acustică a Academiei RSR, București, 11-13 aprilie, 1968.
- 16 Băltănoiu, M. - Cercetare pe modele sudate frontal dintre profilul I și tablă de oțel. Lucrare prezentată la a XIII-a Sesiune științifică a I.P.B., 22-24 mai, 1970.
- 17 Băltănoiu, M., Temirov, Vl. - Considerațiuni asupra determinării experimentale a tensiunilor în metale cu ajutorul lacurilor casante. Lucrare prezentată la Sesiunea științifică, Universitatea din Craiova, mai, 1970.

- 18 Băltănoiu, M - Considerațiuni asupra comportării la sudabilitate a oțelurilor slab aliate cu mangan, utilizate la construcția metalică a transformatoarelor de putere. Lucrare prezentată la a II-a Sesiune de comunicări științifice, Universitatea din Craiova-GUAMEC CCP, Craiova, 3-4 dec., 1971.
- 19 Băltănoiu, M. - Cercetări privind sudabilitatea, lipirea și acoperiri protectoare la oțeluri și aliaje neferoase. Prescripții tehnologice, Lucrare de cercetare efectuată la CCP-GUAMEC Craiova, 1970.
- 20 Băltănoiu, M - Änderung der Kennwerte der Ultraschall-kontrolle infolge Modifizierung einiger Prozesse. Lucrare prezentată și publicată la IV Nationale Wissenschaftlich-Technische Konferenz über zerstörungsfreie Werkstoffprüfung 23-25 Iuni 1972, organizat de Wissenschaftlich Technischer Verband Maschinenbau Sektion Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, Varna, Bulgaria.
- 21 Băltănoiu, M - Considerațiuni asupra încercării de fisurabilitate a oțelurilor slab aliate cu mangan. Lucrare prezentată la a XIV-a Sesiune științifică organizată de Ministerul Forțelor Armate-Academia Militară, București, 16-17 mai 1972.
- 23 Băltănoiu, M., Popovici, Vl., Haydu, I. - Considerațiuni privind comportarea unor îmbinări sudate din oțeluri carbon și slab aliate în condiții de temperaturi scăzute. Publicată la Simpozionul "Rezistența îmbinărilor sudate" I. P. Iași, 27-29 sept. 1973, vol. II, pg. 255-265.
- 24 Băltănoiu, M., Popovici, Vl., Sontea, S. - Considerațiuni privind comportarea oțelurilor utilizate în construcții sudate în condiții de temperaturi scăzute. Publicată în Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, organizată de CNIT, MICM și IPTV Timișoara, vol. 10, 1972, pag. 197-222.
- 25 Băltănoiu, M - Considerațiuni asupra sudării pieselor din oțel carbon cu granulație fină folosite la fabricația de locomotive. Lucrare prezentată la Sesiunea organizată de ICPEM, Reșița, 17-18 oct. 1975.
- 26 Băltănoiu, M - Cîteva probleme tehnice care pot conduce la economisirea de metal. Lucrare prezentată la Sesiunea științifică cu prilejul a 10 ani a existenței Universității din Craiova, 12-13 noiembrie, 1976.
- 27 Băltănoiu, M - Unele considerațiuni asupra comportării la sudare a oțelurilor slab aliate cu mangan și granulație fină. Lucrare prezentată la a XII-a Sesiune Jubiliară ICPE București, 4-6 nov., 1976.
- 28 Băltănoiu, M - Unele considerațiuni tehnico-economice cu privire la utilizarea oțelurilor aliate și cu granulație fină. Publicată în Comunicări tehnice, Electroputere, Craiova, 1978, nr. 8, pg. 24-27.
- 29 Băltănoiu, M - Corelarea proprietăților mecanice obținute pe epruvete și pe modele sudate. Publicată la al II-lea Simpozion Național de Tensometrie, cu participare internațională, Cluj-Napoca, 11-14 iunie, vol. B, pg. 339-345.
- 30 Băltănoiu, M - Experimentări pentru evidențierea stărilor de tensiune. Publicată la al II-lea Simpozion Național de Tensometrie, cu participare internațională, Cluj-Napoca, 11-14 iunie, 1980, vol. B, pg. 331-338.
- 31 Băltănoiu, M - Cercetarea deformațiilor rezultate pe o probă sudată din oțel prin măsurători efectuate la suprafață și în adâncimea probei. Lucrare prezentată la a VIII-a Sesiune de comunicări științifice a Academiei Militare, București, 18-19 noiembrie, 1980.

- 32 Băltănoiu, M - Preocupări majore în domeniul cercetării materialelor utilizate la într. Electroputere în scopul optimizării tehnologiilor de fabricație. Revista de comunicări Electroputere, număr festiv la a XX-a aniversare a INPC, CCSIT, ep. Craiova, 1979.
- 33 Băltănoiu, M - Criteriile care trebuie avute în vedere la utilizarea rațională a oțelurilor. Publicată la a 3-a Conferință Tribotemică '82, Ploiești, 22-24 oct. 1982, vol. II pag. 183-193.
- 34 Băltănoiu, M - Cercetarea probelor sudate prin dilatometrie diferențială. Publicată la al III-lea Simpozion Național de Tensometrie cu participare internațională, Timișoara, 29 sept.-1 oct. 1983, organizat de Comisia Centrală de Tensometrie, ICPIT București și IITV Timișoara, vol. II, pag. 179-185.
- 38 Brown, A. J., Brown, R. T., Masubuchi, K. - Recherche fondamentale sur le soudage sous l'eau. Rapport intermédiaire M. I. T. 15 febr. 1973.
- 39 Buzdugan, Gh., Blumenfeld, M. - Tensometria electrică rezistivă. E. T. București, 1966.
- 42 Criciotoiu, El., Băltănoiu, M., Slapciu, Gh. - Determinarea experimentală a regimului optim de vibrare în cazul tratamentului de stabilizare a tensiunilor interne la piese turnate din fontă cenușie. Publicată la a IV-a Conferință de vibrații, în Construcția de mașini, Timișoara, 26-27 noiembrie, 1982.
- 44 Dieter, G. Jr. - Metalurgie mecanică (Traducere din l. engleză) (SUA), Ed. Tehnică, București, 1970.
- 47 Floriganță, Gh., Băltănoiu, M., Sontea, S. - Contribuții la determinarea tensiunilor remanente la îmbinările sudate. Lucrare prezentată la prima sesiune de comunicări științifice, Universitatea Craiova, 25-26 mai, 1968.
- 51 Fujita, Y, s.a. - A study on stress relaxation due to heat treatment, Doc X-697-73, IIS.
- 52 Fujita, Y, Nomuto, J, Ohtsuka, M - On transient stress-strain problems during melting, Doc X-304-76, IIS.
- 53 Fujita, Y, Nomoto, J, Soto, K - Thermal stress analysis based on inherent strain, Doc X-855-77, IIS.
- 54 Fujita, Y - Thermal stress analysis based on initial strain method, Doc X-926-79, IIS.
- 55 Corbeaux, H - Observations et reflexions concernant le soudage. Soudage et Techniques connexes, nr. 5-6, 1964.
- 57 Geru, N - Teoria structurală a proprietăților metalelor. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1960.
- 58 Granjon, H, Rozenzweig, J - Etude expérimentale sur la soudabilité des aciers avec haut résistance, utilisés dans les constructions aéronautiques. Soudage et Techniques Connexes, no. 5-6, 1960.
- 61 Granjon, H - Cold cracking in welding of steels. Doc IX-748/71, IIS.
- 62 Granjon, H, s.a. - Possibilités et perspectives du traitement intercritique entre A1 et A3 des assemblages et ensembles soudés en acier. Soudage et Techniques connexes, 1977, nr. 5-6, pag. 165.
- 63 Gulaev, P. A. - Tratatamentul termic al oțelului. Traducere din limba rusă, București, E. T., 1962.
- 66 Haidu, I, Popovici, Vl., Sarbu, C., Rastell, O, Triff, I, Băltănoiu, M, Pîrvulescu, J, Vasilescu, I - Studiul comportării mecanice a unor îmbinări sudate confecționate cu electrozi de sudură indigeni, comparativ cu a celor obținute cu elec-

- trozi din import. Lucrare prezentată la Conferința de sudură și încercări de metale, privind probleme ale realizării și controlului sudurii, organizată de IPTV și CSIO Timișoara, 6-8 sept. 1971.
- 69 Hanah, H, Krebs, J - Eigenspannungen und Schrumpfungen in Schweißkonstruktionen, VEB Verlag Technik, Berlin, 1961.
- 70 Heindhofer, K. - Evaluation of residual stress. New-York, Mc, Graw-Hill, 1948, pag. 113-114.
- 71 Hrivnak, J - Metallurgy of heat treatment of welded joints. Doc IX-1307-83, IIS.
- 74 Imahito, A, Papazoglu, V, Masubuchi, K - Annotated bibliography on numerical analysis of stresses, strains and other effects due to welding sumer, 1981, Doc. X-796-81, IIS.
- 75 Jeseusky, M, Lombardini, J - Decrease of internal stress praks by mechanical over-loading, Doc X-958-80.
- 76 Kihara, H, Masubuchi, K, Matsuyama, Y - Effets de la sequence de soudage sur le retrait transversal et les contraintes residuelles. Rapport nr. 24 de L'Institut de Recherche Technique des Transports, Tokio, 1958.
- 82 Krentkramer, J, Krentkramer, H, Werstoffprüfung mit Ultraschall, Springer Verlag, Berlin/Göttingen, Heidelberg, 1961.
- 84 Leclerc, P, Rousseau, P - Caracteristiques des aciers a 52 utilises dans la construction des Ponts-Rentes soudés. Etude de la Comission de Siderurgie. Soudage et Techniques connexes, nr. 3-4, 1964.
- 85 Leymonie, C, Bouverot, R, Hennion, J - Contributions a l'etude des traitements thermiques apres soudage d'aciers faiblement alliés. Doc X-596-70, IIS.
- 87 Macherauch, E, Wolfahrt, H, Wolfstieg, U - Zur zweckmassigen Definition von Eigenspannungen, Sonderdruck aus "Harterei-Technische Mitteilungen", 28(1973), Heft 3/sept, pg. 201-211.
- 88 Malisius, R - Schrumpfungen, Spannungen und Risse beim Schweißen, 2 erweiterte Auflage, Deutsche Verlag für Schweißtechnik, G. m. b. H, Dusseldorf, FRG, 1960.
- 89 Masubuchi, K, Ogura, Y, Ishihara, Y, Hoshino, I - Etude des mecanismes de l'origine et methodes de reduction de la deformation des toles de coque lors du soudage des navires. International schipbuilding progress(1956), vol. 3, nr. 19, pag. 123-133.
- 91 Masubuchi, K, Ich, N, T - Analyse par ordinateur du degre de bridage des assemblages bout a bout. Welding Journal(USA), (1970), vol. 49, nr. 4, Research Suppl. pag. 166-176.
- 92 Masubuchi, K - Techniques d'analyse des contraintes residuelles pour l'etude des assemblage soudés. Resume du H. I. T. Doc X-675-72, IIS.
- 93 Masubuchi, K, Andrews, J, B, Urushihara, A - Analyse par la methode des elements finis de la deformation thermo-elasto-plastique en soudage bout a bout. Doc X-692-73, IIS.
- 95 Masubuchi, K - Rapport sur l'etat des connaissances de l'analyse numerique des contraintes, des deformations et des autres effets du soudage. Soudage et Technique connexes, no. 7-8, 1976, pag. 301-309.
- 96 Masubuchi, K - Similarities among theories of residual stress joint restraint and fracture mechanics. Doc IX-1054-77, IIS.
- 97 Masubuchi, K - Annotated bibliography on numerical analysis of stresses, strains and other effects produced by welding. Doc X-859-77, IIS.
- 98 Mikloš, C, s. a. Sudarea metalelor, E. T, București, 1965.

- 99 Mocanu, D, R, Buga, M, Georgescu, C - Determinarea experimentală unitară. Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, București, 1966.
- 100 Mocanu, D, R, ș.a. - Analiza experimentală a tensiunilor, vol. II, E.T., 1977.
- 101 Mryka, J - Static and vibrational stress relief, Doc X-858-77, IIS.
- 102 Muller, E, A - Handbuch der zerstörungsfreies Material prufung, R, Oldenburg, München, 1970, pag. 511-513.
- 103 Murachi, T, Masubuchi, K - Analyse thermique de l'experience M 552 pour le traitement des materiaux dans l'espace. Rapport final du M. I. T., 1973.
- 104 Murachi, T, Masubuchi, K - Analyse thermique de l'experience M 551 pour le traitement des materiaux dans l'espace. Rapport final du M. I. T., 1973.
- 105 Myers, P, S, Uyehara, O, A, Borman, G, L - Principes fondamentaux de l'ecoulement de la chaleur en soudage, Welding Research Council Buletin, USA, no. 123 (1967), pag. 1-46.
- 107 Naka, T - Repartition de la temperature en cours de soudage. Journal of the Japan Welding Society (1941), vol. II, nr. 1, pag. 4-6.
- 108 Naka, T, Masubuchi, K - Repartition de la temperature dans les tôles soudées. Journal of the Japan Welding Society (1947), vol. 16, nr. 7 și 12, pag. 281-290 și 374-378.
- 110 Nazarov - Defectosopia nedistructivă a materialelor, traducere din limba rusă, E.T., București, 1964.
- 111 Nădășan, St, ș.a. - Incercări și analize de metale. ET, București, 1965.
- 112 Neitzel, M, Maltling, A - Evaluarea defectelor în suduri prin încercarea la oboseală prin vibrații. Traducere din Schweissen u Schneiden, 18, nr. 3, martie 1966, Sudura nr. 12, dec. 1966.
- 113 Nichols, R, W - Conference Houdremont 1976. La fiabilite des constructions soudees. Quelques contributions de la Comission X de l IIS, Soudage et Techniques connexes-sepr-oct, 1976, pag. 361-374.
- 115 Nibbering, P, V - Plastic deformations at notches in welds of mild steel plates. Part. II, Doc. X-636-71, IIS.
- 116 Nicolaev, G, A - Construcții sudate. Traducere din limba rusă. E.T., București, 1955.
- 117 Nicolaev, G, A - Rascet svarnhsosedinei i procenestv svarnih konstrukții izdatelstvo. Vbișala skola, Moscva, 1965.
- 118 Nippes, E, F, Merrill, L, L, Savage, W, F - Vitesse du refroidissement des soudures a l'arc sur tole de 25,4 mm d'epaisseur. Welding Journal (USA), (1949), vol. 28, nr. 11, Research Suppl. pag. 556-564.
- 119 Nippes, E, F, Savage, W, F, Allio, R, J - Etudes de la zone thermiquement affectee des soudures sur acier T-1, Welding Journal (USA) (1957), vol. 36, nr. 12, Research Suppl, pag. 531-540.
- 120 Nippes, E, F, Nelson, E, C - Evaluation de la microstructure de la zone thermiquement affectee des soudures d'apres les donnees de transformation en refroidissement continu, Welding Journal (USA) (1958), vol. 37, nr. 7, Research Suppl, pag. 289-294.
- 123 Okerblom, N, D - Proiectarea constructiv-technologică a construcțiilor sudate. Traducere din l. rusă, IDT, București, 1965.

- 125 Parlans, A, J - Residual stresses in thick weldments a review of contemporary measurement techniques. Doc X-92-78, IIS.
- 127 Popovici, Vl, Băltănoiu, M, Sontea, S - Examinări asupra influenței modului de prelevare a rostului pentru sudare. Lucrare publicată la Comunicările celei de a V-a Conferință de Sudură și Incercări de metale, Timișoara, 1965 și în Construcția de Mașini, nr. 6-7, 1965.
- 128 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Considerațiuni asupra deformațiilor și tensiunilor rezultate în piesele sudate cap la cap. Lucrare prezentată la a VI-a Sesiune de Comuni - cări ICTCM, București, 9-10 oct. 1969.
- 129 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Aprecieri asupra influenței transformărilor produse la sudarea prin topire a oțelurilor cu privire la parametrii de propagare ale ultrasunetelor, publicată la Conferința de sudură și încercări de materiale privind probleme ale realizării și controlului sudurii, organizată de IPTV Timișoara și CSID Timișoara, 6-8 sept, 1971, pag. 390-401.
- 130 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Considerațiuni asupra interpretării durității probelor sudate, publicată la Conferința de sudură și încercări de metale privind probleme ale realizării și controlului sudurii, organizată de IPTV Timișoara și CSID Timișoara, 6-8 sept, 1971, pag. 373-377.
- 131 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Considerațiuni asupra variației coeficientului de dilatare termică liniară pe probe sudate din oțel slab aliat cu mangan. Lucrare prezentată la Sesiunea de comunicări a lucrărilor științifice de colaborare cu producția, organizată în cinstea semicentenarului PCR a IPTV Timișoara, 24-25 aprilie, 1971.
- 132 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Determinarea experimentală a deformațiilor la îmbinările sudate. Lucrare prezentată la a XIV-a sesiune științifică organizată de Ministerul Forțelor Armate-Academia Militară, București, 16-17 mai, 1972.
- 133 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Considerațiuni privind comportarea unor îmbinări sudate din oțel carbon și slab aliat în condiții de temperaturi scăzute. Lucrare prezentată la Simpozionul „Rezistența îmbinărilor sudate”, organizată de M.E. I. I. P. Gh. Asachi-Iași, IPTV Timișoara, CNIT-Comisia de sudură, Iași, 27-29 sept. 1973.
- 134 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Cercetarea deformațiilor și aprecieri asupra tensiunilor produse prin model sudat din oțel slab aliat cu mangan. Lucrare prezentată la Simpozionul „Rezistența îmbinărilor sudate”, organizat de MEI, IP-Gh. Asachi Iași și IPTV Timișoara, CNIT-Comisia de sudură, Iași, 27-29 sept, 1973.
- 135 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Influența unor procedee tehnologice aplicate oțelurilor laminate asupra parametrilor care definesc controlul nedistructiv cu ultrasunete, publicată la Prima Conferință de control nedistructiv la creșterea calității, a siguranței în exploatare și a competitivității produselor, organizată de CNIT Comisia de control nedistructiv și Inspectoratul general de Stat pentru controlul calității produselor, București, 10-11 iunie 1974, pag. 175-183.
- 136 Popovici, Vl, Băltănoiu, M - Efectul detensiionării termice al îmbinărilor sudate determinat prin coeficientul de dilatare termică. Lucrare prezentată la a XIV-a Sesiune de comunicări științifice a ICEM, Buc., 8-10 sept, 1982.

- 137 Procter, E, Beanly, EM - The effect of differential thermal expansion on residual stresses in a welded joint, Doc X 777-75, IIS.
- 140 Rosenthal, D - Theorie matematica de la repartiția de la căldură lors du soudage et du coupage. Welding Journal, USA (1941), vol 20, nr. 5, pag. 220-234.
- 142 Rikalin, N, N - Calcul du processus thermique en soudage, Edit. Moscova (URSS), 1960.
- 144 Sagalevitch, V, M - Geometric dimensions stability in welded structures, Doc. X-1020-82, IIS.
- 145 Sagalevitch, V - Metodii ustranenia cvarocinii deformații i napriazhenii, Moskva, Mashinostroenie, 1974.
- 147 Satoh, K, Nakamura, H - Transient thermal stress of weld heat-affected zone with particular reference to weld cracking in high strength steel, Doc. IX-793-72, IIS.
- 148 Satoh, K, Ueda, Y, Kihara, H - Tendances recente des recherches sur les contraintes et deformations dues au bridage en liaison avec la fissuration des soudures, Doc. IX-788-72 și X-659-72, IIS.
- 149 Satoh, K, Ueda, Y, Matsui, S - Revue de la litterature publiee on Japan en 1972-73 sur les contraintes et les deformations dues au soudage, Doc X-699-73, IIS.
- 150 Satoh, K, Kunihiike, Osaka, N - List of published and current works in Japan on welding stresses, strains, deformation, etc, Doc. X-991-81, IIS.
- 151 Sefarian, D - Metallurgie de la soudure, Ed. Diamond, Paris, 1999.
- 152 Schumann, H - Metalurgie fizică, Traducere din limba germană, ET, București, 1972.
- 153 Siebel, S - Die Prüfung der metallischen Werkstoffen, Springer Verlag, Berlin, 1955.
- 156 Soete, W, Danys, R - Deformation patterns and fracture locations of defect free butt welds located in tension, Doc. X-923-70, IIS.
- 157 Soete, W, Huo Li Xing - The general yielding criterium, Doc. X-999-81, IIS.
- 158 Susuki, H - Cold cracking and its prevention in steel welding structures, Doc. X-1020-82, IIS.
- 159 Stroppe, H - Die roentgenographische Messung der Eigenspannungen in geschweissten Konstruktions-teilen. Comunicările celei de a VI-a Conferință de sudură și încercări de metale, secția III-a Controlul îmbinărilor sudate, Timișoara, 1969.
- 160 Susuki, H, s.a. - Nondestructiv estimation of residual stress in welded pressure vessel steel by means of remanent magnetisation measurement, Doc. X-801-76, IIS.
- 161 Sălăgean, T - Fenomene fizice și metalurgice la sudarea cu arcul electric a oțelurilor, Edit. Academiei, RPR, București, 1963.
- 162 Sălăgean, T - Oțeluri pentru structuri sudate, Ed. Facla, Timișoara, 1974.
- 163 Sontea, S, Băltănoiu, M - Indrumătorul tehnicianului și controlului mecano-metalurgic, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1973.
- 164 Sontea, S, Băltănoiu, M - Influența rugozității și a granulației oțelurilor asupra preciziei la măsurarea grosimii pieselor cu ajutorul ultrasunetelor, Publicată la a IV-a Conferință Națională de Acustică, București, 29-31 mai, 1973, vol II, pag. 277-282.

- 165 Santea, S, Băltănoiu, M - Măsurători de atenuare a undelor ultrasonice la aliaje folosite la uzinele Electroputere Craiova și corelarea rezultatelor cu structura și proprietățile mecanice ale aliajelor, lucrare prezentată la Consfătuirea organizată de Academia RSR - Comisia de Acustică, 1964 și publicată de IDT în 1965.
- 166 Tahahaschi, H. - Evaluation of static and dynamic fracture toughness using critical plastic strain energy criteria, Doc X-847-77, IIS.
- 167 Tanaka, S - Répartition de la température dans les toles soudées, Journal of the Japan Welding Society (1943), vol. 13, nr. 9, pag. 347-359.
- 168 Teodorescu, C, C, Mocănu, D, R, Buga, M - Imbinări sudate, E. T. București, 1972.
- 170 Tietz, H, D - Spannungsmessung mittels Ultraschall, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke Magdeburg 10, 1966, Heft 5, pag. 509-517.
- 171 Tietz, H, D - Ultraschustische Untersuchungen an Kupfer-Einkristallen, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke, Magdeburg 10, 1966, Heft 5, pag. 519-523.
- 172 Tietz, H, D - Ultrasonic Determination of High-Order Elastic Constants in Elastically Deformed Metal Rods, Technical session, 5. International Kongress für zerstörungs freie Werkstoffprüfung, 1967, Canada, Montreal, pag. 164-168.
- 174 Ueda, Y - Transient and residual stresses in multi-pass welds, Doc. X-698-73, IIS.
- 175 Ueda, Y, Takahaschi, E, Fukuda, K, Kanacho, K - Contraintes transitoires et résiduelles dans les soudures multipass. Doc. X-698-73, IIS.
- 176 Ueda, Y, Fukuda, K, Endo, S - A study on the accuracy of estimated residual stresses by the existing measuring methods, Doc. X-809-76, IIS.
- 177 Vasile, I - Tehnica sudării și economicitatea utilizării oțelurilor de rezistență mărită și înaltă, Sinteză documentară, IDT, București, 1969.
- 178 Vinokurov, V, A, Grigoryanzy, A, G - General review of works in the USSR on temporary stresses, strains and distortion in welded parts, Doc. X-731-74, IIS.
- 181 Watanabe, M, s. a. - Determination of preheating temperature for crack prevention, Doc. X-736-74, IIS.
- 184 x x x Compte rendu sur le pratique de l'essais de severite thermique (essais C.T.S) dans plusieurs laboratoires, Doc. 61-60, IIS.
185. x x x Methode d'essais et d'approbation des electrodes pour le soudage des aciers doux et faiblement allies a haut resistance, Soudage et Techniques connexes, no. 5-6, 1963, Doc. 56-60, IIS.
- 186 x x x Recommendations for the classification of steels for use in welded structures, Doc. IX-704-70, IIS.
- 187-192 x x STAS 165-82, Incercările metalelor, Incercarea de duritate Brinell, STAS 200-75, Incercarea la tracțiune, STAS 492-80, Incercarea de duritate Vickers, STAS 500/1, 2-80, Oțeluri de uz general pentru construcții, STAS 1125/1-81, Sudarea metalelor, Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor, Condiții tehnice generale de calitate, STAS 1125/2-81, Sudarea metalelor, Electrozi înveliți ptr. sudarea oțelurilor carbon și slab aliate, Tipuri și condiții generale.

- 193-195 Standarde pentru încercări STAS 1400-75, 4203-80 și 5490-80.
- 196-200 Încercarea îmbinărilor sudate 5540/1...5.
- 202-206 Standarde încercări metale STAS 6774-79, 6833-79, 7356/1-80, 7501-66, 7511-81.
- 207 x^x DIN 17100 Allgemeine Baustahle Gutevorschriften, sept. 1956.
- 208 Băltănoiu, M - Experimentări privind detensionarea prin vibrații și termică. Lucrare prezentată la a XXVII-a Sesiune de comunicări științifice ICEM-Facultatea de Metalurgie București, 11-12 sept. 1984.
- 209 Băltănoiu, M, Crițoiu, Bl - Preocupări pentru introducerea detensionării prin vibrații la Electroputere. Lucrare prezentată la Conferința Națională de Electrotehnică și Electroenergetică, Craiova, 20-21 sept. 1984, publicată în vol. 9, pag. 1-6.
- 210 Băltănoiu, M - Testarea la fisurabilitate a oțelurilor slab aliate cu mangan. Lucrare prezentată la a 2-a sesiune de comunicări științifice a ISM Timișoara, 7-9 noiembrie, 1984.
- 212 Csabelka, I - The weldability of high strength steels. British Welding Journal, nr. 10, 1966 (Materiale sudabile, IDT, București, 1970).
- 213 Morariu, St - Transformări în îmbinările sudate ale oțelurilor, Ed. Facla, Timișoara, 1984.
- 214 Sagalevici, V, M, Meister, A, M - Eliminating welding strains and stresses in sheet constructions by vibration under load. Svarc. Proiz., 1971, nr. 9, pag. 1-3.
- 216 Granjon, H - Information sur les essais de fissuration, Doc. IIS 93-62.
- 222 Klein, H, F, Bohrum - Die Messung der Gleitverteilung-e in neuer Weg zur Beurteilung von Ermüdungsverhalten, Spannungskorrosions-empfindlichkeit und Tieftemperatur-sprödigkeit-Ralex, Rundschau, Heft 3, 1970, pag. 218-221.
- 227 x^x - ISO/DIS 3088-Exigences relatives au soudage.
- 232 Granjon, H - Possibilités et perspectives du traitement intercritique entre A1 et A3 des assemblages et ensembles soudés en acier. Soudage et Techniques connexes 31/1977, nr. 5-6, pag. 165.
- 233 Kriwiak, J - Metallurgy of heat treatment of welded joints. Doc. IIS, X-1071-84.
- 234 Sagalevici, V, M, Sovelyev, V, F - Geometric dimensions stability in welded structures, Doc. IIS, X-1020-82.
- 235 Leymonie, C, Bouverot, R, Hemion, J - Contribution a l'étude des traitements thermiques apres soudage d'aciers faiblement alliés. Doc. IIS, X-596-70.
- 236 Băltănoiu, M, Diaconu, Vl - Studiul sudabilității oțelurilor și a îmbinărilor sudate în vederea redimensionării la locomotive și transformatoare. Lucrare de cercetare la CCP Electroputere Craiova, 1971 (uz intern).
- 237 Bunescu, A - Studiul construcției metalice a locomotivei cu ajutorul fotoelasticității, cercetare realizată la CCP Electroputere, Craiova, 1972 (uz intern).
- 238 Popovici, Vl, Sarlău, C, Băltănoiu, M, Sontea, S, Temircov, Vl - Studiul rezistenței îmbinărilor sudate la ansamblele sudate care lucrează la temperaturi scăzute. Cercetare uz intern IIS, 1967, realizată în colaborare cu catedra UTS a facultății de mecanică IPTV Timișoara.

- 241 Băltănoiu, M., Sentea, S - Cercetarea oțelurilor destinate construcției sudate a locomotivei diesel-electrice, IDT, 1964.
- 243 Băltănoiu, M., ș.a. - Cercetări privind tendința de rupere fragilă a oțelurilor folosite în construcții metalice sudate cu aplicație la locomotive. Cercetare efectuată la UEPC, Serv. Cercetare, Craiova, 1968 (uz intern).
- 244 Slapciu, Gh., Băltănoiu, M - Studiul privind omologarea realizării și calității îmbinărilor sudate caracteristice de la traversa frontală pentru locomotive. Temă de cercetare C. C. P. Electreputere, Craiova, 1972 (uz intern).
- 245 Băltănoiu, M., ș.a. - Studiul privind profilul I pentru lenjeronii de la locomotive cu profil construcție sudată. Cercetare realizată la ICP-EP, Craiova, 1974 (uz intern).
- 246 Popovici, Vl., Băltănoiu, M - Din experiența uzinei Electreputere Craiova privind determinarea experimentală a deformațiilor rezultate la îmbinări sudate. Cursuri de perfecționare în domeniul sudării.
- 247 Băltănoiu, M - Unele aspecte legate de detensionarea termică și prin vibrații. Lucrare prezentată la Technomus, ed. II, Simpozion organizat de Întreprinderea de Mașini-Unelte și Institutul de Învățământ Superior, Suceava, 7-8 iunie, 1985.
- 249 Sălăgean, T - Comportarea la sudare a oțelurilor carbon slab aliate. Sinteză a cercetărilor de la Departamentul de sudură de la Ohio State University din Columbus, Ohio, SUA, Studii și cercetări de metalurgie, Tomul 15, nr. 2, 1970, Ed. Academiei RSR.
- 250 Adenis, A., Blanchard, P - Fragilite et fragilation des metaux et alliages. Ed. Dumont, Paris, 1965.
- 251 Sagalevici, V. A., Meister, A. M - Eliminating welding strains and stresses in sheet constructions by vibration under load, Svar, Proiz, 1971, nr. 9, pag. 1-3.
- 252 Langencker, B - Effect of sonic and ultrasonic radiation on safety factors of rockets and missiles, A. I. A. A. Journal, 1965, nr. 1.
- 253 Kolso-Thomas - Stress relief by vibration, Tool and Manufacturing Engineer, 1968, nr. 5.
- 255 Olenin, E. P., Averin, A., Dobrotina, E. V - Snizenie vibrobrabotkojostatočnyk naprjazenij y svarnyh elementah (Svar. Proizd, 1983, nr. 5, pag. 11.13.)
- 256 Speer, F. Z., Panov, V. I - Vibracionnaja obrabotka svarnyh krupnogabornitnyh konstrukcij celin umenszanija deformacii i sklonnostik obrazovanija trescin, Svar. Proizd, 1983, nr. 5, pag. 13-15.
- 257 Rappen, A - Vibration nach VSR-Verfahren zur Verminderung Lasttechnik, 1972, 38, nr. 10, pag. 223-233.
- 258 Băltănoiu, M., Bunescu, A., Criștoiu, E., Kalleder, A - Cercetarea pe modele și pe elemente a unor structuri sudate prin fotoelasticitate și extensometrie. Cercetare efectuată la ICP-EP Craiova.
- 259 Băltănoiu, M - Recherches comparatives pour elimination des tensions internes par vibration et traitement thermique. Lucrare prezentată și publicată la V th Conference on vibration in Mechanical Engineering, II-nd volume, pag. 232-238, Timișoara, 6-7 decembrie, 1985.
- 260 Băltănoiu, M - Efectul detensionării prin vibrații și termice la unele carcase pentru mașinile electrice. Lucra-

- re publicată în „Eficiență și rentabilitate în proiectarea, fabricarea și exploatarea mașinilor și aparatelor electrice, Întreprinderea Electroputere în colaborare cu IPTV și Universitatea Timișoara, 18-19 aprilie, 1986, vol. I, pag. 259-264.
- 261 Băltănoiu, M - Analiza dilatometrică, metodă pentru determinarea tensiunilor remanente. Lucrare prezentată și în curs de apariție la Simpozionul Național de Studiul Metalelor și Tratamente termice, Institutul Politehnic Gh. Asachi, Iași, 6-7 iunie, 1986.
- 262 Băltănoiu, M - Considerațiuni asupra detensionării pieselor sudate. Lucrare prezentată și în curs de apariție la Simpozionul Național de Studiul Metalelor și Tratamente termice, Institutul Politehnic „Gh. Asachi”, Iași, 6-7 iunie, 1986.
- 263 Sălăgean, T - Tehnologia sudării metalelor cu arcul electric. E.T., București, 1986.